



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

**ENERGIASIMULATSIOONI LÄHTEANDMETE
MÕJU LIGINULLENERGIA BÜROOHOONE
ARVUTUSLIKULE ENERGIATARBIMISELE EESTIS
JA SKANDINAAVIAS**

**IMPACT OF ENERGY SIMULATION INPUT DATA ON THE
CALCULATED ENERGY USE OF A NEARLY-ZERO ENERGY
OFFICE BUILDING IN ESTONIA AND SCANDINAVIA**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Maris Graumann

Üliõpilaskood: 144557EAKI

Juhendaja: Martin Thalfeldt, professor

Tallinn 2020

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“25” mai 2020

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“25” mai 2020

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”2020

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Maris Graumann (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 12.12.1993)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Energiasimulatsiooni lähteandmete mõju liginullenergia büroohoone arvutuslikule energiatarbimisele Eestis ja Skandinaavias,

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on Martin Thalfeldt,

(*juhendaja nimi*)

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

_____ (*allkiri*)

25.05.2020 (*kuupäev*)

Ehituse ja arhitektuuri instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Maris Graumann, 144557EAKI (nimi, üliõpilaskood)
Õppekava, peaariala: EAKI Hoonete sisekliima ja veetehnika (kood ja nimetus)
Juhendaja: professor, Martin Thalfeldt, +3725209657 (amet, nimi, telefon)
Konsultant:(nimi, amet)
..... (ettevõtte, telefon, e-post)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Energiasimulatsiooni lähteandmete mõju liginullenergia büroohoone arvutuslikule energiatarbimisele Eestis ja Skandinaavias

(inglise keeles) Impact of Energy Simulation Input Data on the Calculated Energy Use of a Nearly-Zero Energy Office Building in Estonia and Scandinavia

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Koostada detailne ülevaade valitud Euroopa riikide büroohonete energiatarbimise hindamise meetodikatest.
2. Koostada detailne ülevaade Eesti büroohoone liginullenergia nõudest.
3. Ühe liginullenergia büroohoone energiasimulatsioonide põhjal võrrelda arvutuslikku energiatarbimist sama hoone, aga erinevate kohalike energiaarvutuse lähteandmetega.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Erinevates riikides ja kliimades asuvate büroohonete energiatarbimist käsitletud uuringute ülevaade koostamine. Koguda infot erinevates riikides kasutatavate tüüpiliste tehniliste lahenduste kohta.	03.12.2019
2.	Koostada detailne ülevaade valitud Euroopa riikide büroohonete energiatarbimise hindamise meetodikatest (vabasoojused, kasutusprofiilid, sisekliima parameetrid jne).	31.12.2019
3.	Koostada detailne ülevaade Eesti büroohoone liginullenergia nõudest (arvesse võetavad energiatarbijad, energiakandjate kaalumistegurid, hinnatavad parameetrid ning nende piirmäärad jne).	31.12.2019

4.	Koostada ühe liginullenergia büroohoone mudel simulatsiooniprogrammis IDA-ICE. Punktis 1. kogutud info puhul korrigeerida büroohoone tehnilisi lahendusi vastavalt simulatsioonis kasutavale asukohale.	25.02.2020
5.	Modelleerida büroohoone energiatarbimist vastavalt punktis 2. kogutud infole ning hinnata selle vastavust liginullenergia büroohoone nõuetele (punktis 3 kogutud info).	22.04.2020
6.	Töö tulemuste süstematiseerimine ja selle ülevaatlikuks esitamiseks jooniste ning tabelite tegemine/viimistlemine.	04.05.2020
7.	Lõputöö lõpliku versiooni kirjutamine.	11.05.2020

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: "25" mai 2020 a

Üliõpilane: Maris Graumann ".....".....2020 a
/allkiri/

Juhendaja: Martin Thalfeldt ".....".....2020 a
/allkiri/

Konsultant: ".....".....2020 a
/allkiri/

Programmijuht: Martin Thalfeldt ".....".....2020 a
/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA	7
Lühendite ja tähiste loetelu	8
1. SISSEJUHATUS.....	9
1.1 Hoonete energiatõhusus	9
1.2 Kirjanduse ülevaade.....	11
2. MEETODID	13
2.1 Energiaarvutus Eestis.....	13
2.1.1 Energiavajaduse hindamine	14
2.1.2 Tarnitud energia hindamine	18
2.1.3 Energiatõhususarvu arvutamine	23
2.2 Hoone mudeli koostamine	24
2.2.1 Büroohoone kirjeldus	25
2.2.2 Büroohoone energiaarvutuse lähteandmed	29
2.2.3 Büroohoone simulatsioonimudel	32
2.3 Energiaarvutuse lähteandmed erinevates riikides.....	32
3. TULEMUSED	39
3.1 Projekteeritud hoone energiatõhusus	39
3.1.1 Büroohoone energiavajadus.....	39
3.1.2 Büroohoone tarnitud energia.....	43
3.1.3 Büroohoone energiatõhususarv	51
4. ANALÜÜS.....	52
KOKKUVÕTE	54
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	58
LISAD	61
Lisa 1	62

EESSÕNA

Antud magistritöö koostati üliõpilase algatusel soovist saada rohkem teada, kuidas on eririigid rakendanud büroohonete energiatõhususe hindamise meetodikaid ning millised on Eesti liginullenergia nõuded. Andmeid võrreldes, püüti teada saada, mis on ühe riigi meetodikas parem kui teise. Tallinna Tehnikaülikooli professori Martin Thalfeldti poolt tuli lõputöö täpne sõnastus „Energiasimulatsiooni lähteandmete mõju liginullenergia büroohoone arvutuslikule energiatarbimisele Eestis ja Skandinaavias“ ning pakkumine katsetada, kuidas oleks võimalik eririikide nõudeid omavahel ühtlustada.

Büroohonete energiatarbimise hindamisel lähtuti õppejõu Martin Thalfeldti käsutuses olnud artiklitest ja standarditest. Neist saadud andmetest koostati ülevaade erinevates riikides ja kliimades asuvate büroohonete energiatõhusust käsitletud uuringutest. Ühtlasi koguti ka info erinevates riikides kasutatavate tüüpiliste tehniliste lahenduste kohta. Büroohonete energiasäästu analüüsimiseks koostati Järvevana tee 7b büroohoone kohta programmis IDA-ICE 4.8 energiasimulatsiooni mudel, mille tehnilisi lahendusi korrigeeriti vastavalt simulatsioonis kasutavale asukohale.

Käsitletud artiklitest ja standarditest koostati detailne ülevaade Eesti, Soome, Rootsi, Norra ja Taani büroohonete energiatõhususe hindamise meetodikatest (vabasoojused, kasutusprofiilid, sisekliima parameetrid jne). Andmetest lähtuvalt modelleeriti büroohoone energiatarbimist vastavalt kogutud infole. Ühtlasi koostati detailne ülevaade Eesti büroohoone liginullenergia nõudest (arvesse võeti energiatarbijad, energiakandjate kaalumistegurid, hinnatavad parameetrid, nende piirmäärad jne). Saadud andmete põhjal võrreldi arvutuslikke energiatarbimisi sama hoone, aga erinevate kohalike energiaarvutuse lähteandmetega.

Büroohoone

Energiatõhusus

Liginullenergiahooned

Energiasimulatsioon

Euroopa direktiiv

Magistritöö

Lühendite ja tähiste loetelu

Lühendid

DHW	(ingl k) <i>Domestic Hot water</i> – soe tarbevesi
EL	Euroopa Liit (ingl k <i>European Union</i> , EU)
HVAC	(ingl k) <i>Heating, Ventilation and Air Conditioning</i> – küte, ventilatsioon ja õhu konditsioneerimine
IDA-ICE	(ingl k) <i>IDA Indoor Climate and Energy</i> – simulatsioonitarkvara
ISO	(ingl k) <i>International Organization for Standardization</i> – rahvusvaheline standardiorganisatsioon
nZEB	(ingl k) <i>Nearly Zero-Energy Building</i> – liginullenergiahoone
PV-paneelid	päikesepaneelid
SFP	(ingl k) <i>Specific Fan Power</i> – konkreetne ventilaatori võimsus
SPF	(ingl k) <i>Seasonal Performance Factor</i> – hooajaline kasutegur ehk soojuspumba aasta keskmine soojustegur ruumide kütmisel, mis arvutatakse kütte energiakasutuse suhtena elektrikasutusse ning milles on arvestatud kõikide abiseadmete elektritarvet
SP/VT	Sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioon
TRY	(ingl k) <i>Test Reference Year</i> - energiaarvutuste baasaasta
TTÜ	Tallinna Tehnikaülikool (ingl k <i>Tallinn University of Technology</i> , TalTech)
ZEB	(ingl k) <i>Zero Emission Buildings</i> – nullheitega hoone

Rooma tähed

$A_{k\ddot{o}etav}$	Hoone köetav pind	[m ²]
A_{vp}	Hoone välispiirete kogupindala	[m ²]
CO ₂	Süsihappegaas	[-]
$E_{tar,i}$	Energiakandjaga i tarnitud energia	[kWh/a]
ETA	Energiatõhususarv	[kWh/(m ² ·a)]

Kreeka tähed

f_i	Energiakandja i kaalumistegur	[-]
ψ_j	Joonkülmasilla lisasoojusjuhtivus	[W/(m·K)]

1. SISSEJUHATUS

Hetkel on erinevates Euroopa riikides asuvate büroohoonete energiatõhusust omavahel väga raske võrrelda. Peamiselt seetõttu, et energiatõhususe hindamise meetodikad erinevad Euroopa Liidu liikmesriikides märkimisväärselt. Uuringud on näidanud, et meetodikate mõju kliimale on märkimisväärselt suur. Käesoleva töö põhieesmärgiks on illustreerida büroohoonete energiatarbimist erinevates kliimades ja võrrelda arvutuslikku energiatarbimist sama hoone, aga erinevate kohalike energiaarvutuste lähteandmetega.

Hoonete energiatõhususe direktiivi 2010/31/EL [1] andmetel tarbivad hooned Euroopa Liidus 40% energiast ja tekitavad 36% CO₂-heitest. Eestis on hoonete osakaal kasvamas üle 50% (ilma tööstushooneteta). Olemasolevate büroohoonete keskmine tarnitud soojusenergia jääb hinnanguliselt vahemikku 140...150 kWh/(m²·a) [2]. Direktiivis nõutakse, et liikmesriigid kehtestaksid pikaajalised riiklikud strateegiad hoonete energiatõhususe tagamiseks oma riigis. Sellega aitavad nad saavutada jätkusuutlikku energiavarustust, vähendada kasvuhoonegaaside heitkoguseid, parandada varustuskindlust ja vähendada impordi arveid energiaallikate veo näol. Energiatõhusus on Euroopa Liidu üks prioriteetidest [3]. Seega on kliimamuutuste tõkestamiseks ja energiakulude kokkuhoiduks hoonete energiatõhusus väga oluline.

Energiatõhususe direktiiv nõuab hoonete ja hooneosade üldise energiatõhususe arvutamise meetodika ühist üldraamistikku ning miinimumnõuete rakendamist uute hoonete ja uute hooneosade energiatõhususe suhtes. Kõik uued hooned peavad 31. detsembriks 2020 olema liginullenergiahooned [1]. Liginullenergiahoone on energiatõhusate ja taastuvenergiatehnoloogia lahendustega tehniliselt mõistlikult ehitatud hoone [4].

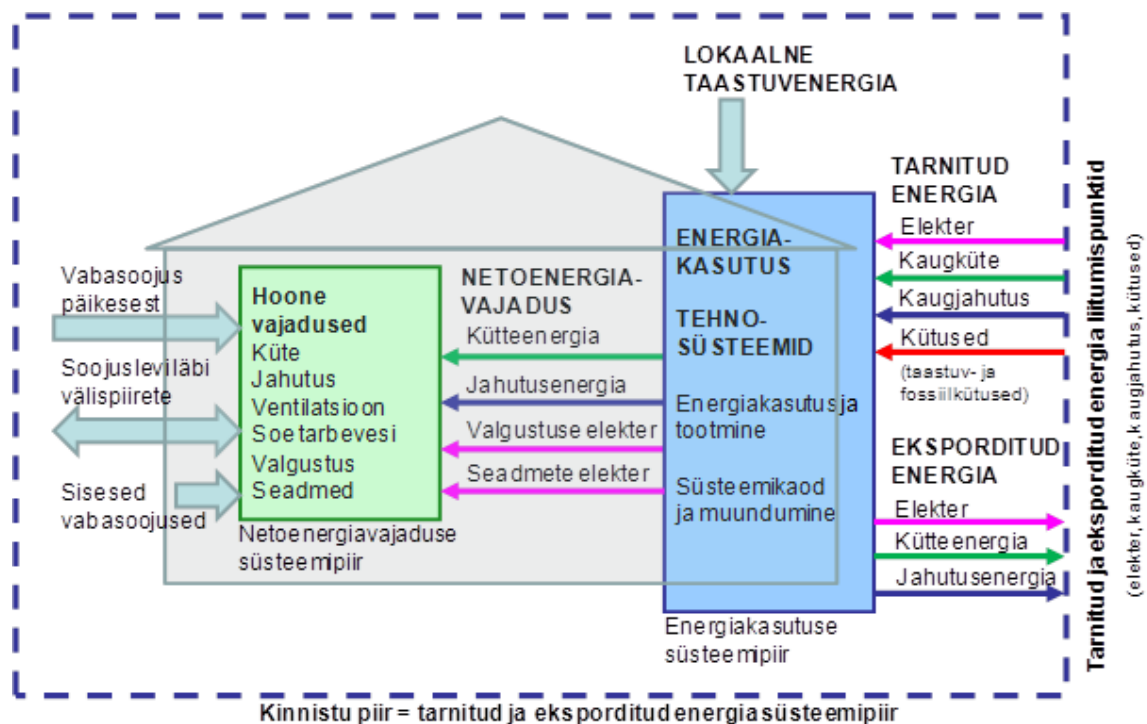
Magistritöö raames koguti büroohoonete energiatõhususe hindamise meetodikad (vabasoojused, kasutusprofiilid, sisekliima parameetrid jne) viiest riigist. Vajalikud andmed saadi kätte Eestist, Soomest, Rootsist, Norrast ja Taanist. Võrdlus teostati tarkvaraga IDA-ICE 4.8 soovist saada teada, millise riigi energiatõhususe hindamise meetodikad on kõige energiatõhusamad. Nii saab iga riik aidata kaasa kulutõhusamale energiatarbimisele Euroopas.

1.1 Hoonete energiatõhusus

Hoonete energiatõhususarv (ETA) on arvutuslik summaarne tarnitud energiade kaalutud erikasutus hoone tüüpilisel kasutusel, mis kajastab hoone kompleksset energiakasutust nii sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks kui ka olme- ja muude

elektriseadmete kasutamiseks hoone köetava pinna ruutmeetri kohta hoone t upilisel kasutamisel ning mida väljendatakse kilovatt-tundides hoone köetava pinna ruutmeetri kohta aastas [4]. ETA arvutamise põhieesmärgiks on tõendada ehitatava või oluliselt rekonstrueeritava hoone vastavust energiatõhususe miinimumnõuetele, kaasa arvatud liginullenergiahoonete nõuetele.

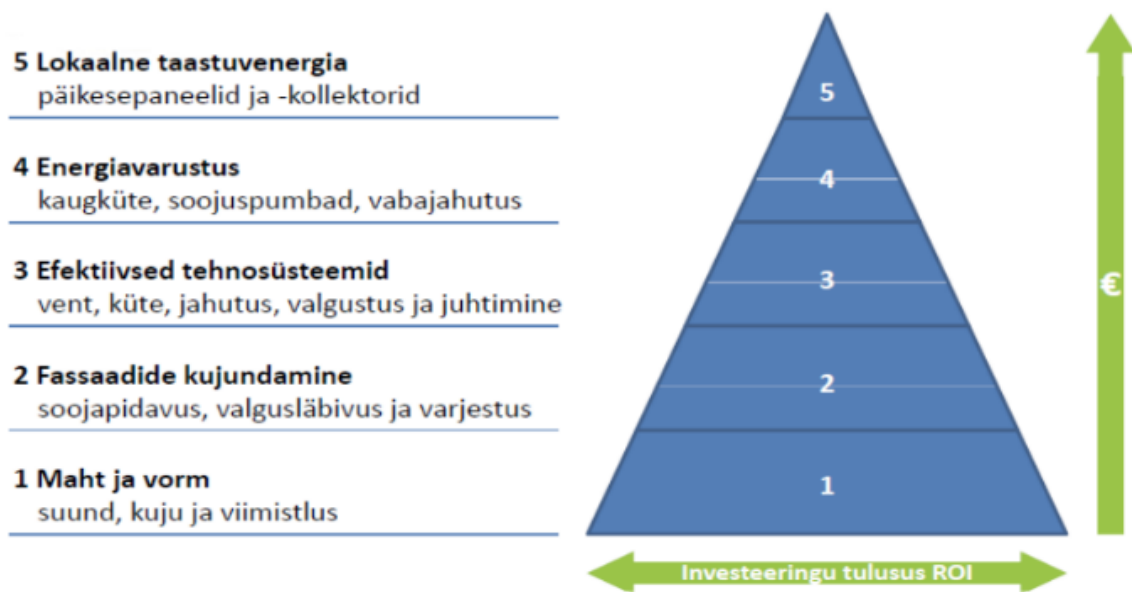
Energiatõhususarvu leidmiseks tuleb arvutada hoone kaalutud summaarne energiakasutus ning m arata, kui palju toodetakse taastuvenergiat ja kui palju sellest kasutatakse ära hoones ja eksporditakse tagasi võrku [4]. Tarnitud ja eksporditud energia s steemipiir on toodud Joonisel 1.1.



Joonis 1.1 Tarnitud ja eksporditud energia s steemipiir [2]

Liginullenergiahoone on parima võimaliku ehituspraktika kohaselt energiatõhusus- ja taastuvenergiatehnoloogiate lahendusi kasutades tehniliselt mõistlikult ehitatud hoone, mille energiatõhususarv ei ole suurem kui 100 kWh/(m²·a) [5].

Energiatõhusust mõjutab oluliselt hoone mahuline lahendus ehk hoone kompaktsus ja orientatsioon. V lspiirete pindala, eriti akende suurus ja sisekliimaga tagatavate ruumide põranda pindala. Energiatõhususe põhinäitajad on soovituslik jälgida nii energiabilansi komponentide kui ka projekteerimise protsessis tehtavate valikute osas [2]. Joonis 1.2 näitab hoone planeerimisel ja projekteerimisel tehtavate valikute eelistatavat järjekorda ning mõju energiatõhususele.



Joonis 1.2 Energiatõhususe kavandamise püramiid [2]

1.2 Kirjanduse ülevaade

Hoone energiatõhususe arvutamise meetoodika määrusega [4] kehtestatakse hoone energiatõhususe miinimumnõuetele vastavuse tõendamiseks kasutatav arvutamise meetoodika.

Hoone energiatõhususe miinimumnõuete määrus [5], mis jõustus 01.01.2019 kehtestab, et kui sisekliima tagamisega hoone ehitusloa taotlus või ehitusteatis esitatakse ja hoone püstitatakse pärast 2019. aasta 31. detsembrit, siis peab hoone vastama liginullenergiahoonele esitatud nõuetele.

J. Kurnitski, T. Buso, S.P. Corgnati, A. Derjanecz, A. Litiu artiklis [6] koguti riiklikud nZEB määratlused. Kümme saadud määratlust olid sisu ja ambitsioonide taseme poolest märkimisväärselt erinevad. Euroopa rühmitati viide kliimavööndisse, et uurida primaarenergia väärtuste ja muude asjakohaste parameetrite varieeruvust võrreldavates kliimavööndites.

K. Ahmed, M. Carlier, C. Feldmann, J. Kurnitski artikli [7] uuringus töötati välja meetod, mis võimaldab võrrelda energiatõhusust erinevates kliimatingimustes. Vastandati neli riiki, tuginedes hoonele, mille eesmärk on analüüsida kliima ja riiklike eeskirjade mõju primaarenergia kasutamisele. Kavandatud hoonel on võimalik „liikuda“ ühest kliimast teise, muutudes vastavalt ruumi soojendamise, jahutamise ja elektrivalgustuse vajadustele.

D. D'Agostino artikli [8] eesmärk oli anda ülevaade Euroopa liginullenergia nõuete rakendamisest. Antakse ülevaade edusammudest, mida liikmesriigid on teinud

liginullenergiahoone määratluste vastuvõtmisel olemasoleva kirjanduse, riiklike kavade, komisjonile esitatud mallide, samuti EPBD kooskõlastatud tegevuse ja energiatõhususe analüüsi kaudu. Enim kasutatavad taastuvenergia tehnoloogiad on PV-paneelid, soojuspumbad, õhksoojuspumbad, maasoojuspumbad ja soojuse taaskasutamine.

M.K. Wiik, S.M. Fufa, T. Kristjansdottir, I. Andresen artiklis [9] tutvustati, hinnati ja arutati arvutusmetoodikate ja kasvuhoonegaaside heitkoguste tulemusi Norra ZEB uurimiskeskuse nullheitega hoonete juhtumiuuringute põhjal. Kokku hinnatakse kahte virtuaalset mudelit ja viit nullheitega hoonet. Need on kolm elumaja, kaks õppehoonet ja üks kool. Kehtestatud kasvuhoonegaaside heitkoguste tulemused näitavad, et Norra nullheitega hoonete juhtumiuuringute koguheites on peamised põhjustajad hoones välissein (ca 65%) ning materjalide tootmine ja asendamine (umbes 55-78%).

J. Kurnitski, K. Ahmed, T. Hasu, T. Kalamees, N. Lolli, A. Lien, T. Johan, J. Jan artikli [10] uuringus viidi HZ2020 NERO projektis osalevate Põhja-Euroopa riikide liginullenergiahoonete energiatõhususe nõuded võrdlusesse Euroopa Komisjoni ametlike soovitusetega. Võrdlushooneks kasutati prEN 16798-1 standardiseeritud sisendandmetega kortermaja. Energiasimulatsioonid viidi läbi nii standardiseeritud kui ka riiklike sisendandmetega, kuna neid oli vaja võrrelda liginullenergiahoonete riiklike nõuetega.

Kokkuvõtvalt võib öelda, et liginullenergiahooneid puudutavaid uuringuid on palju, aga tihti keskendutakse üldisele energiatõhususe hindamise metoodikate ja liginullenergia nõuete võrdlusele ning puudub detailne võrdlus, mis hõlmaks hoone tehnilisi lahendusi tervikuna.

2. MEETODID

Kuna Euroopa Liidu liikmesriikidel on õigus ise kehtestada energiatõhususe tõendamise ja märgiste väljastamise korrad ning meetodid, siis võivad eri liikmesriikide hoonete energiatõhususe miinimumnõuete tõendamise põhimõtted ja energiamärgised väga suurtes piirides erineda ega ole sageli omavahel lihtsasti võrreldavad [2]. Võrdluse teostamiseks tuleks koostada detailne ülevaade riikide büroohonete energiatõhususe hindamise meetodikate ja liginullenergia nõuete kohta.

2.1 Energiaarvutus Eestis

Eesti on kohustatud koos teiste Euroopa Liidu liikmesriikidega järgima uute ja oluliselt rekonstrueeritavate hoonete osas energiatõhususe nõudeid ning tagama hoonetele energiamärgise väljastamise [1]. Selleks on Eestis reguleeritud hoone summaarne energiatarbimine, võttes arvesse energiakandjate kaalumistegurid ja lokaalsetest taastuvatest energiaallikatest toodetud energiat. Energiatõhususarvu arvutamise põhieesmärgiks on hoone energiatõhususe miinimumnõuetele vastavuse tõendamine võrdsetel ja samadel tingimustel.

Hoone kütteenergiatarve ehk soojuskadu ei sõltu mitte ainult välispiirde U-arvust, vaid ka välispiirde pindalast [11]. Mida ebakompaktsem on hoone, seda suurem on hoone välispindala ja suurem soojuskadu. Ainult U-arvu reguleerimisest ei muutu hooned energiasäästlikumaks. Üks tehnosüsteem mõjutab teise süsteemi energiatarbimist. Näiteks vähem elektrit tarbiv valgustus suurendab kütetarbimist, kuna hoonesse eraldub vähem vabasoojust. Hoone on üks tervik. Lähtutakse summaarsest energiatarbimisest, mitte komponendipõhistest näitajatest.

Hoone energiatõhususe nõuetele vastavuse kontrolliks sooritatakse energiaarvutus hoone tüüpilisel kasutamisel, hoone energiatõhususe arvutamise meetodika määruises [4] toodud välis- ja sisekliima, hoone ja tehnosüsteemi kasutus- ja käiduaegade, vabasoojuse ning hoone välispiirde õhulekke lähteandmetega. Muud arvutuseks vajalikud lähteandmed võetakse hoone ehitusprojektist. Energiaarvutuses ei eeldata hoone detailset tsoonideks jagamist. Büroohoone jagatakse vastavalt kasutusotstarbele ja kasutusajale vajalikuks arvuks tsoonideks [4].

Soojuspumbaga hoones peab soojuspump olema varustatud eraldi soojus- ja elektriarvestiga. Juhul kui soojuspump toodab soojusenergiat hoone kütmiseks ja sooja tarbevee valmistamiseks, piisab ühest soojusarvestist [5].

2.1.1 Energiavajaduse hindamine

Energiarvutuse kõikides etappides ja tulemuste esitamisel käsitletakse soojus- ja elektrienergiakasutust eraldi [4]. Energiatarbimine sõltub hoone standardkasutusest, kasutusprofiilidest ja -tingimustest. Hoone erinevate lahenduste valikul ja majanduslikul optimeerimisel tuleks üldjuhul lähtuda hoone prognoositavast kasutusest ja asukoha kliimast.

Netoenergiavajadus näitab kui palju on vaja sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks ning valgustuse ja seadmete kasutamiseks soojus- ja elektrienergiat ilma süsteemikadudeta ning energia muundamiseta. Netoenergiavajadus jaguneb ruumide kütteks ja jahutamiseks, ventilatsiooniõhu soojendamiseks ja jahutamiseks, tarbevee soojendamiseks, ruumide valgustamiseks ning seadmete kasutamiseks [4]. Netoenergia arvutatakse tehnosüsteemide kaupa. Lähtudes energiakasutuse arvutamisest tehnosüsteemide kaupa, võttes arvesse kadusid ja energiamuundamisi.

Energiarvutus sisaldab vastavate tehnosüsteemide olemasolul järgmisi etappe [4]:

- netoenergiavajaduse arvutus, mille käigus tehakse ruumi kütte, ventilatsiooniõhu soojustagastuse ja soojendamise netoenergiavajaduse arvutus;
- tarbevee soojendamise ja ruumi jahutuse netoenergiavajaduse arvutus;
- ventilatsioonisüsteemi elektrikasutuse arvutus;
- küttesüsteemi ligikaudne arvutus, lähtudes soojusallika kasutegurist või soojuspumbasüsteemi soojustegurist, soojuse jaotamise ja väljastamise kadudest ning abiseadme elektrikasutusest;
- jahutussüsteemi ligikaudne arvutus, võttes arvesse jahutussüsteemi kondensaadi- ja soojuskadu ja külmatootmist;
- elektrisüsteemi elektrikasutuse arvutus vastavalt valgustuse ja seadmete kasutuse lähteandmetele;
- lokaalse taastuvenergiasisüsteemi energiatoodangu ja lokaalse elektritootmise omatarbe arvutus;
- arvutustulemuste ja lähteandmete esitus hoone energiatõhususe arvutamise metoodikas sätestatud korras.

Välispiirete ehk välisseinte, põrandate ja katuste soojuskadud arvutatakse vastavalt välispiirdeosa soojuslähivusele ja sisemõõtudega arvutatud pindalale [4]. Soojuskao suurus sõltub mitmest erinevast tegurist – köetava pinna suurusel, hoone mõõtmetel, arhitektuuril, ehitusmaterjalide soojustehnilistest näitajatest, geograafilisest asukohast ning heitsoojuse taaskasutuse määrast. Büroohoone soojuserikadude

leidmiseks tuleb arvutada soojuskaod läbi konstruktsioonide, külmasildade ning ventilatsiooni ja infiltratsiooni soojuskaod ning need omavahel liita.

Uuritud büroohoone piirdetarindite kirjeldus on toodud LISA 1 Tabel L.1 [12].

Kogu hoone soojuserikaod on leitav valemiga [13]:

$$H_{kogu} = H_t + H_{ks} + H_{vent,inf}$$

kus ΣH – hoone soojuserikadu kokku, W/K,

H_t – soojuserikadu läbi piirdetarindite, W/K,

H_{ks} – soojuserikadu läbi külmasildade, W/K,

$H_{vent,inf}$ – ventilatsiooni ja infiltratsiooni soojuserikadu, W/K.

Tarindite ehk välispiirete soojuserikao arvutamiseks kasutatakse valemit [13]:

$$H_t = A \cdot U \cdot e,$$

kus A – piirdetarindi pindala, m²,

U – piirdetarindi soojusjuhtivus, W/(m²·K)

e – parandustegur, mis arvestab erinevat soojustust, niiskuse neeldumist piirdeelementidesse, välisõhu temperatuuri ja tuule kiirust – suurusi, millega ei ole arvestatud U -arvu määramisel.

Välispiirete nurkade ja liitekohtade, nagu välissein-välissein, põrand-välissein, katuslagi-välissein, akna seinakinnitus, lisasoojuskaod võetakse eraldi arvesse geomeetriliste joonkülmasildade lisasoojusjuhtivusega. Soojuserikadu läbi joonkülmasildade arvutatakse vastavalt valemile [13]:

$$H_{ks} = \Sigma \Psi_j \cdot l_j,$$

kus Ψ_j – joonkülmasilla lisasoojusjuhtivus, W/(m·K),

l_j – joonkülmasilla pikkus.

Maapinnaga kontaktis oleva põranda soojuserikaod sõltuvad mitmetest teguritest – põranda pindala, perimeeter, maapinna soojustehnilistest omadustest, kasutatud materjalidest.

Aasta keskmine infiltratsiooni õhuvooluhulk q_i (l/s) arvutatakse valemiga [4]:

$$q_i = \frac{q_{50}}{3,6 \cdot x} A,$$

kus q_{50} – hoone välispiirde keskmine õhulekkearv¹, m³/(h·m²),

A – hoone välispiirde (sealhulgas põranda) sisepindala, m²,

x – tegur, mis on viie- ja enamakorruselisele hoonele 15,
3,6 – tegur, mis teisendab õhuvooluhulga m³/h ühikust l/s ühikuks.

¹ õhulekkearv on hoone välispiirde õhupidavust iseloomustav näitaja, mis on määratud õhulekkestestiga 50 paskali (Pa) rõhkude erinevusel. Hoone keskmine õhulekkearv antakse välispiirde ruutmeetri kohta. Välispiirde pindala arvutatakse piirde sisemõõtude põhjal.

Köetava ruumi ventilatsiooni ja infiltratsiooni arvutusliku soojuserikao leidmiseks kasutatakse valemit [13]:

$$H_{vent,inf} = (L_i + q_i) \cdot 0,001 \cdot \rho \cdot c,$$

kus $H_{vent,inf}$ – ventilatsiooni ja infiltratsiooni arvutuslik soojuserikadu, W/K,

L_i – arvutuslik välisõhu vooluhulk köetavas ruumis, l/s,

q_i – infiltratsiooni õhuhulk,

ρ – õhutihedus ruumi arvutuslikul temperatuuril, kg/m³,

c – õhu massierisoojus ruumi arvutuslikul temperatuuril, J/(kg·K)

0,001 – kordarv, mis teisendab ühikud, m³/s.

Ventilatsioonist tingitud soojuserikao leidmiseks tuleb leida kõigepealt soojendatav õhuhulk valemiga [13]:

$$L = A_k \cdot n,$$

kus L – arvutuslik õhuvooluhulk köetavas ruumis, l/s,

A_k – köetava ruumi pindala, m²,

n – õhuvahetuse kordarv, l/(s·m²)

Infiltratsioon on hoonepiirete ebapiisavast õhupidavusest tingitud kontrollimatu ning planeerimatu õhuvool läbi tarindi, see on hoonete energiatõhususe määramisel oluline, sest mõjutab otseselt elamu kütte- ja jahutuskulusid [4]. Välispiirde infiltratsiooni õhuleke q_i on mõõdetud ning saadud 1,5 m³/(h·m²).

Ventilatsiooniõhu soojendamise netoenergiavajadus arvutatakse koos ventilatsioonisüsteemi soojustagastusega [4]. Ventilatsiooniõhu soojendamise netoenergiavajadus hõlmab ventilatsiooniõhu soojendamist nii enne kui ka pärast soojustagastust või ilma soojustagastuseta ventilatsioonisüsteemis sissevõetava välisõhu soojenemist ruumis välistemperatuurist ruumitemperatuurini.

Jahutussüsteemiga varustatud hoone korral arvutatakse ruumide jahutuse netoenergiavajadus ja jahutussüsteemi energiakasutus [4]. Jahutuse

netoenergiavajaduse ja jahutussüsteemi energiakasutuse arvutamisel võetakse arvesse kogu ajaperiood, mille jooksul on seadmete kasutamine ette nähtud.

Lokaalne taastuvenergia on hoones, kinnistul või hoone lähimbruses päikese-, vee-, pinnase- või tuuleenergiast toodetud elekter või soojusenergia [4]. Soojuspumbal võetakse arvesse soojustegurit.

Päikesepaneelide aastane elektritoodang arvutatakse valemiga [4]:

$$E_{pan} = \frac{Q_{päike} \cdot P_{max} \cdot k_{kas}}{I_{ref}},$$

kus E_{pan} – päikesepaneeliga toodetud aastane elektrienergia, kWh/a,
 $Q_{päike}$ – päikesepaneeli pinnale, millele ei teki varje, tulev aastane päikeseenergia, kWh/a,
 P_{max} – päikesepaneeli maksimaalne võimsus standardtingimustel, kW,
($I_{ref} = 1 \text{ kW/m}^2$, temperatuur 25°C)
 k_{kas} – tegur, mis arvestab päikesepaneeli kasutustingimusi,
 I_{ref} – standardkiirgus, 1 kWh/m².

Päikesepaneeli pinnale tulev aastane päikeseenergia arvutatakse valemiga [4]:

$$Q_{päike} = 945 \cdot k_{suund},$$

kus 945 – horisontaalpinnale tulev aastane päikesekiirgus, kWh/(m²·a)
 k_{suund} – suunategur, mis arvestab päikesepaneeli suunatust ilmakaare ja horisondi suhtes,

Päikesepaneeli suunateguri väärtused on toodud Tabelis 2.1 [4].

Tabel 2.1 Kollektori või paneeli suunategur, k_{suund}

Kaldenurk horisondi suhtes, °	Ilmakaar
	Edel, 225°
15°	1,08

Päikesepaneeli maksimaalne võimsus standardtingimustel P_{max} sõltub paneeli tüübist ja saadakse lähtudes tootja andmetest [4]. Kasutustingimuste tegur k_{kas} võtab arvesse päikesepaneeli ümbritseva keskkonna iseärasusi (temperatuur, paneeli paigaldus) ja kadusid vahelduvvooluks muundamisel. Täpsemate andmete puudumisel võib kasutada Tabelis 2.2 toodud väärtusi.

Tabel 2.2 Päikesepaneeli kasutegur

Paneeli paigaldusviis	k_{kas}
Tuulutuseeta	0,7
Mõõduka tuulutusega	0,75
Intensiivse tuulutusega	0,8

Päikesepaneeliga toodetud elektrienergia see osa, mis on ette nähtud hoone toimimiseks, arvutatakse tunnipõhise energiatoodangu ja energiakasutuse simulatsioonarvutusega või selle arvutamisel kasutatakse Tabelis 2.3 toodud väärtusi [4].

Tabel 2.3 Päikesepaneeliga toodetud elektrienergia osakaal, mis on ette nähtud hoone toimimiseks (omatarbe osakaal)

Hoone	Omatarbe osakaal, %
Büroohoone	90

Kui toodetakse lokaalset energiat, siis on tarnitud energia hoones ära kasutatud taastuvenergia võrra väiksem [4].

2.1.2 Tarnitud energia hindamine

Tarnitud energia on energiavõrkudest aastas hangitud energia või kütuse energiasisaldus kilovatt-tundides (kWh/a) [4]. Energiavajaduse põhjal arvutatakse tarnitud energia võttes arvesse süsteemide kasuteguri, efektiivsuse ning abi- ja lisaseadmete elektritarbimise.

Summaarse tarnitud energia saamiseks tuleb kokku liita kõik hoone sisekliima tagamiseks vajalike tehnosüsteemide näiteks kütte, valgustuse, elektriseadmete, ventilatsiooni soojuse ja elektri, sooja tarbevee ja jahutuse energiakasutused, arvestades kadusid ja energiamuundamist [11]. Energiakandjate lõikes lahutatakse summaarsest energiakasutusest maha hoonest kasutatust leidev lokaalselt toodetud taastuvenergia. Kinnistult hangitud kütused loetakse tarnitud energiaks.

Küttesüsteemi elektri- ja soojusenergiakasutus arvutatakse vastavalt küttesüsteemi kasutegurile ning soojuspumpsüsteemi soojustegurile ja abiseadme elektritarbimisele [4]. Soojuspumpsüsteemis kasutatakse soojusallika kasuteguri asemel soojustegurit.

Soojuse jaotamise ja väljastamise kasutegur ning abiseadme elektritarbimine arvutatakse simulatsioonarvutusega või kasutatakse Tabelis 2.4 toodud andmeid [4].

Tabel 2.4 Soojuse jaotamise ja väljastamise kasutegurid ning abiseadmete elektritarbimine

Hoone tüüp	Kütteviis	Kasutegur	Veeküttesüsteemi ringluspumba elektritarbimine ¹ , kWh/(m ² ·a)
Muu hoone	Põrandaküte, plaat pinnasel või alt tuulutatav põrand	0,85	1
	Põrandaküte vahelaes	1,0	1

¹ elektritarbimine köetava pinna m² kohta, elektriradiaatori, -kaablile ja elektrilisele laeküttele ning soojuspumpsüsteemile 0 kWh/(m²·a).

Soojuspumpsüsteemi arvutus põhineb soojusteguril, mis näitab mitu kilovatt-tundi soojusenergiat saadakse soojuspumbaga ühest kilovatt-tunni elektrienergiast [4]. Soojuspumba töötamine kombineeritud küttesüsteemi osana võetakse arvutuses arvesse, kui osa küttevajaduse tipuvõimsustest kaetakse muu soojusallikaga näiteks elektrilise küttekehaga. Pinnaseenergiast soojusenergiat tootev maasoojuspump võib katta küttevõimsuse vajaduse osaliselt või täielikult. Muud soojuspumba käsitletakse alati ühe osana kombineeritud küttesüsteemist, mis täidab kogu küttevõimsuse vajaduse osaliselt.

Soojuspumpsüsteemiga kombineeritud küttesüsteemis arvutatakse soojuspumbaga toodetud soojusenergia, lähtudes soojuspumba soojuslikust võimsusest, hetkelisest võimsusvajadusest ja seda vähendavast vabasoojuse võimsusest vastavalt kasutusajale ja vabasoojusele [4]. Tooteandmete puudumisel kasutatakse soojuspumbaga toodetud soojusenergia osakaalu määramiseks Tabelis 2.5 toodud andmeid.

Tabel 2.5 Soojuspumbaga toodetud soojusenergia osakaal ruumide kütte¹ ja sooja tarbevee netoenergia vajadusest

$\left(\frac{\varphi_{sp}^a}{\varphi_{ruumid}}\right)^b$	$\left(\frac{Q_{küte}^{ruumid}^c}{Q_{küte}^{soe\ vesi}}\right)$	Maasoojuspump	
		Pealevoolu maksimaalne temperatuur, T _p	
		30	40
0,80	2,00	0,99	0,98
	4,00	0,99	0,98

¹ Juhul kui soojuspump soojendab ka ventilatsiooniõhku, siis ventilatsiooniõhu soojendamiseks vajalik küttevõimsus ja netoenergiavajadus lisatakse ruumide küttekoormusse ja ruumide kütte netoenergiale.

^a φ_{sp} on nominaalvõimsus, mis antakse maasoojuspumbale tööpunktis $T_{vedelik}/T_{pealevool}$ 0/35 °C, õhk-vesi soojuspumbale tööpunktis $T_{välis}/T_{pealevool}$ +7/35 °C ja õhk-õhk soojuspumbale tööpunktis $T_{välis}/T_{sise}$ +7/20 °C,

^b $\varphi_{sp}/\varphi_{ruumid}$ on soojuspumba nominaalse soojusvõimsuse ja ruumide küttekoormuse (arvutuslikul välisõhu temperatuuril) suhe,

^c $Q_{küte}^{ruumid}/Q_{küte}^{soe\ vesi}$ on ruumide kütmise ja tarbevee soojendamise netoenergiate suhe.

Soojuspumbaga küttesüsteemi elektrienergia kasutus arvutatakse valemiga [4]:

$$E_{sp} = \frac{Q_{sp,küte}^{ruumid}}{SPF_{ruumid}} + \frac{Q_{sp,küte}^{soe\ vesi}}{SPF_{soe\ vesi}} + E_{lisaküte}$$

kus E_{sp} – soojuspumbaga küttesüsteemi elektrienergia kasutus, kWh,
 $Q_{sp,küte}^{ruumid}$ – soojuspumbaga toodetud ruumide kütteenergia, kWh,
 $Q_{sp,küte}^{soe\ vesi}$ – soojuspumbaga toodetud tarbevee soojendamise kütteenergia, kWh,
 SPF_{ruumid} – soojuspumba aasta keskmine soojustegur ruumide kütisel,
 $SPF_{soe\ vesi}$ – soojuspumba aasta keskmine soojustegur tarbevee soojendamisel,
 $E_{lisaküte}$ – elektriline lisaküte, kWh.

Soojuspumba aasta keskmine soojustegur määratakse detailse tunnipõhise arvutusega, kasutades toote energiamärgise andmeid või Tabelis 2.6 toodud väärtusi [4]:

Tabel 2.6 Soojuspumba aasta keskmine soojustegur

Küttegraafik	Maasoojuspump, inverter
35/28	4,7
Soe tarbevesi	2,7

Siseõhu kvaliteet tagatakse soojustagastusega sissepuhke- ja väljatõmbeventilatsiooniga. Ventilatsioonisüsteemis kasutatakse efektiivset soojustagastust, madala rõhulanguga torustikku ja ventilatsiooniseadme komponente ning kõrge kasuteguriga ventilaatorit ja juhtseadet. Väljatõmbeõhk sisaldab saasteaineid, mida ei tohi soojustagastisse juhtida. Ventilatsioonisüsteemi soojustagastuse temperatuuri suhtarv on vähemalt 0,8 [5].

Energiaarvutuse ventilatsiooniõhu soojustagastuse ja soojendamise netoenergiavajaduse arvutuses tuleb arvestada ka soojusvaheti jäätumise vältimiseks vajalikku energiakasutust [4].

Soojustagastus ja ventilatsioonisüsteemi elektrienergia kasutus arvutatakse projektikohase ventilatsiooniseadme tehnilistest andmetest lähtudes. Arvutuses võetakse arvesse võimalik sissepuhke ja väljatõmbe õhuvooluhulkade erinevus nii sama ventilatsiooniseadme lõikes kui ka eraldiseisva ventilaatori puhul [4]. Juhul kui väljatõmbe õhuhulk ületab sissepuhke õhuhulga, käsitletakse vastavate õhuhulkade vahet täiendava välistemperatuuril hoonesse siseneva välisõhu sissevõtuna.

Ventilatsiooni soojustagastus arvutatakse samaaegselt ruumi ja ventilatsiooniõhu kütte netoenergiavajaduse arvutamisega. Soojustagastuse arvutamisel lähtutakse soojusvaheti temperatuuri suhtarvust ehk soojeneva õhuvoolu temperatuuride vahe

enne ja pärast soojusvahetit jagatud maksimaalse temperatuuride vahega üle soojusvaheti ning sissepuhkeõhu temperatuurist ja soojusvaheti jäätumise piiramisest.

Ventilatsioonisüsteemi elektrikasutus moodustub ventilaatori ja selle juhtimisseadme ning pumba ja muu abiseadme elektritarbimisest [4]. Elektrikasutuse efektiivsust hinnatakse ventilatsioonisüsteemi elektrilise erivõimsuse järgi arvutuslikul õhuvooluhulgal. Erivõimsus on süsteemi summaarse võimsuse ja õhuvooluhulga (sissepuhke või väljatõmbe õhuvooluhulk, valitakse suurim) suhtarv $\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.

Ventilatsiooniseadme, mille õhuvooluhulk on üle $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$, iga ventilaatori elektritarbimine arvutatakse eraldi [4]. Ventilaatori elektritarbimine E_v (kWh/a) arvutatakse järgmise valemiga:

$$E_v = P_v \frac{\tau_d \tau_w}{24 t} t,$$

kus P_v – ventilaatori elektrivõimsus, kW,
 τ_d – seadme käidutundide arv (h) ööpäevas arvutuslikul õhuvooluhulgal,
 τ_w – seadme käidupäevade arv (d) nädalas arvutuslikul õhuvooluhulgal,
 t – arvutusperioodi pikkus 8760 h.

Ventilaatori elektrivõimsus P_v (W) arvutatakse SFP kaudu järgmise valemiga [11]:

$$P_v = SFP \cdot L,$$

kus SFP – ventilatsiooni või ventilaatorite elektriline erivõimsus, mida kasutatakse ventilatsiooni- ja õhutöötlemissüsteemide suuruse ja konstruktsiooni määramisel, $\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$,
 L – arvutuslik õhuvooluhulk, m^3/s .

Jahutussüsteemi energiakasutus koosneb jahutusenergia tootmiseks, jaotamiseks ja väljastamiseks ning vajaliku abiseadme käitamiseks vajalikust energiast [4]. Jahutusperioodi energiakasutus jahutamiseks Q_j (kWh/a) koos kondenseerumiskadudega ning jahutusenergia jaotamise ja väljastamise soojuskadudega arvutatakse jahutuse netoenergiavajaduse põhjal järgmiselt:

$$Q_j = (1 + \beta_{je})Q_{je} + (1 + \beta_{rs})Q_{rs},$$

kus Q_{je} – ventilatsiooniseadme jahutuselementide netoenergiavajadus, kWh/a,
 Q_{rs} – ruumiseadme netoenergiavajadus, kWh/a,
 β_{je} – ventilatsiooniseadme jahutuselementidega seostuvate soojuskadude tegur,
 β_{rs} – jahutusenergia ruumiseadmetesse jaotamise ja väljastamise soojuskadude tegur.

Süsteemikadu määratakse simulatsioonarvutusega või kasutatakse Tabelis 2.7 toodud väärtusi [4]. Kui jahutuselemendi netoenergiavajaduse arvutuses on kondenseerumine arvesse võetud, siis kasutatakse kondensaadikadudeta tegurit β_{je} .

Tabel 2.7 Jahutuse kondensaadikao ning jahutusenergia jaotamise ja väljastamise soojuskadude tegurid

Jahutusvee pealevoolu temperatuur	β_{je}	β_{rs}
7°C	0,3	0,2
10°C	0,2	0,15
15°C	0,1	0,1
18°C	0,0	0,0

Kui hoones kasutatav jahutusenergia toodetakse vabajahutuse ja kompressorjahutusmasinaga, arvutatakse jahutusperioodil jahutussüsteemi tarnitud elektrienergia järgmise valemiga [4]:

$$E_Q = \alpha_1 \frac{Q_j}{\varepsilon_1} + \alpha_2 \frac{Q_j}{\varepsilon_2} + E_a,$$

kus a_1 – tootmisprotsessis 1 toodetud aastase jahutusenergia hinnanguline osa,
 a_2 – tootmisprotsessis 2 toodetud aastase jahutusenergia hinnanguline osa
 $(a_1 + a_2 = 1,0)$,
 ε_1 – tootmisprotsessi 1 jahutusperioodi jahutustegur,
 ε_2 – tootmisprotsessi 2 jahutusperioodi jahutustegur,
 Q_j – jahutusperioodi jahutusenergiakasutus koos kondensaadi- ja soojuskadudega kWh/a,
 E_a – abiseadme elektrienergia kasutus kWh/a.

Elektrienergiat tarbivate abiseadmete elektrienergia kasutus E_a kilovatt-tundides aastas arvutatakse valemiga [4]:

$$E_a = \beta_a Q_j,$$

kus β_a – süsteemi jahutusperioodi abiseadme elektritarbimistegur,
 Q_j – süsteemi poolt teenindava ruumi jahutuse jahutusperioodi netoenergiavajadus (kWh/a) koos kadudega.

Elektritarbimisteguri väärtusena võib kasutada järgmisi väärtusi [4]:

- vesisüsteem, jahutustala 0,05,
- vesisüsteem, ventilaatorkonvektor 0,08,
- muutuva õhuhulgaga õhusüsteem (VAV) 0,05,
- SPLIT ja VRV seade 0 (abiseade on võetud arvesse jahutusteguris).

Büroohoones kasutavad lisaks kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemile energiat ka seadmed ja valgustus. Valgustuse ja seadme elektritarbimine võrdub energiaarvutuses valgustuse ja seadme soojuseraldusega [4]. Kasutusaste on keskmine valgustuse ja seadme kasutusaste ning inimese kohal viibimine hoone kasutusaja jooksul. Energiaarvutuse jaoks korrutatakse suurim soojuseraldus kasutusastmega. Valgustuse või seadme või inimese aastane soojuseraldus Q [kWh/(m²·a)] arvutatakse järgmise valemiga:

$$Q = kP \frac{\tau_d \tau_w 8760}{24 \cdot 7 \cdot 1000}$$

kus k – kasutusaste,
 P – soojuseraldus, W/m²,
 T_d – hoone kasutustundide arv ööpäevas, h,
 T_w – hoone kasutuspäevade arv nädalas, d.

2.1.3 Energiatõhususarvu arvutamine

Energiatõhususe nõuded kehtestatakse hoonele tervikuna. Hoone koosseisu arvatakse energiatõhususarvu arvutamisel lisaks piiretele ja tehnosüsteemidele hoonesse või kinnistule paigaldatud hoonet teenindav lokaalse energiatootmise süsteem. Energiatõhususe nõuetele vastavuse kontrollimisel arvutusliku tõendamismeetodi kohaselt arvutatakse energiatõhususarv vastavalt hoone energiatõhususe arvutamise meetodikale [5].

Projekteeritud hoone vastavust energiatõhususe nõuetele hinnatakse hoone projekteerimisel ehitusprojekti alusel. Projekteeritava hoone energiatõhususe nõuetele vastavust näitav energiaarvutus esitatakse ehitatava või oluliselt rekonstrueeritava hoone ehitusloa taotlemisel või ehitusteatisel esitamisel. Kui ehitusprojekti esitamine on nõutav, siis esitatakse energiaarvutus ehitusprojekti osana. Valminud hoone vastavust energiatõhususe nõuetele hinnatakse teostusdokumentatsiooni ja hoone õhulekkearvu mõõtmise akti, selle olemasolul, alusel. Energiaarvutus viiakse läbi vastavalt tegelikult välja ehitatud lahendustele. Kui hoone energiatõhususarv on võrreldes ehitusloa taotlusele või ehitusteatisel lisatud energiamärgisega muutunud, antakse enne kasutusloa taotlemist või kasutusteatisel esitamist välja uus energiamärgis [5].

ETA leidmiseks on vaja arvutada hoone kaalutud summaarne energiakasutus. Veel on vaja määrata, palju toodetakse lokaalselt taastuvenergiat ja kui palju sellest kasutatakse ära hoones või antakse tagasi võrku [11].

Hangitud kütuse kogus arvutatakse tarnitud soojusenergia ja kütuse madalaima kütteväärtuse korrutisena. Tarbimisaine madalaima kütteväärtusena kasutatakse

tarnija andmeid või hoone energiatõhususe arvutamise meetodika määruses toodud andmeid. Kaalutud energiakasutus arvutatakse tarnitud ja eksporditud energia vahe ja kaalumisteguri korrutisena [4]. ETA arvutamisel on vaja arvestada erinevate energiakandjate kaalumisteguritega. Kaalumisteguriga üritatakse arvesse võttatarnitud ja eksporditud energia tootmiseks vajalik primaarenergiakasutus ning selle keskkonnamõju. Mingil määral võtab kaalumistegur arvesse ka riiklike energiamajanduse poliitikat. Energiamajanduse poliitika soosib kaugkütte säilimist ja arendamist [11].

Energiakandjate kaalumistegurid on järgmised [5]:

- taastuvtoormel põhinev kütus, puit ja puidupõhine kütus ning muu biokütus, välja arvatud turvas ja turbabrikett – 0,65;
- kaugküte – 0,9;
- tõhus kaugküte – 0,65;
- kaugjahutus – 0,4;
- tõhus kaugjahutus – 0,2;
- vedelkütus, kütteõli ja vedelgaas – 1,0;
- maagaas – 1,0;
- tahke fossiilkütus – 1,0;
- turvas ja turbabrikett – 1,0;
- elekter – 2,0.

Energiatõhususarvu ETA arvutamiseks jagatakse summaarne kaalutud tarnitud energiakasutus köetava pinna ruutmeetrite arvuga [4]:

$$ETA = \frac{\sum_i(E_{tar,i} f_j)}{A_{köetav}},$$

kus ETA – energiatõhususarv, kWh/(m²·a),
 $E_{tar,i}$ – energiakandjaga i tarnitud energia, kWh/a,
 f_j – energiakandja i kaalumistegur,
 $A_{köetav}$ – köetav pind, m².

2.2 Hoone mudeli koostamine

Kuna erinevate riikide nõudeid on väga keeruline omavahel võrrelda, siis büroohonete energiasäästu potentsiaali analüüsimiseks koostati ühe liginullenergia büroohoone kohta dünaamiline arvutussimulatsioon hoone energiatõhususe miinimumnõuete määruse [5] nõuetele vastava valideeritud tarkvaraga IDA-ICE 4.8, mis võimaldab ühe aasta lõikes simuleerida hoone energiatarvet, sisekliima, välisvarjestust ja muud analoogse iseloomuga dünaamilisi protsesse. Arvutusmudelite simuleerimiseks kasutati

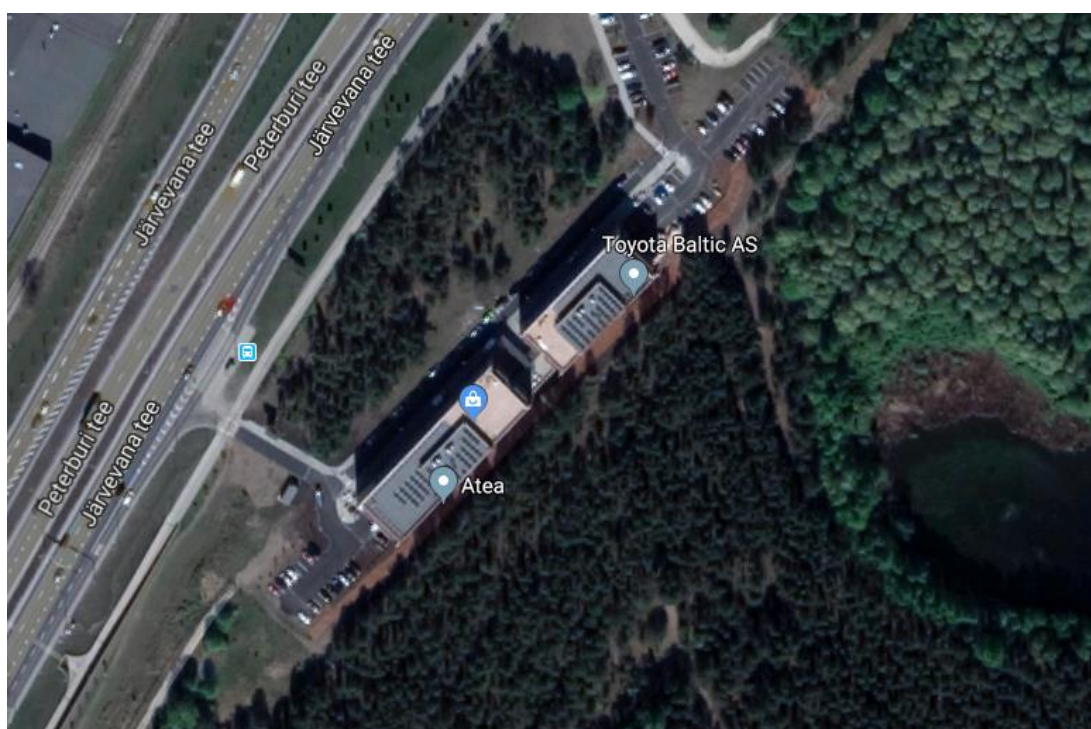
baasaastate kliimafaili (TRY), mis koondab endas 31 aasta pikkuse perioodi tüüpiliste kuude kliimaandmete väärtuseid.

2.2.1 Büroohoone kirjeldus

Magistritöö uurimisobjektiks on Tallinnas Järvevana tee 7b asuv büroohoone, mis on näidatud Joonistel 2.1 ja 2.2. Büroohoonel on viis maapealset korrust ja üks maa-alune korrus koos kütmata parklaga [12]. Hoone on ehitatud 2018 aastal Mitt & Perlebach OÜ poolt [14]. Hoonele on väljastatud energiamärgis, mis sätestab, et hoone vastab energiaklassile A. Kontorihoonel on r/b karkassil monoliitsete vahe ja katuslaega olemasoleva kontorihoonel arhitektuuri jätkav puitfassaadiga parapeti-katusega hoone. Büroohoone kontoriosa põrandaks on projekteeritud 200 mm paksune armeeritud monoliitne betoonpõrand. Põrandates on põrandakütte ja -jahutuse torustik.



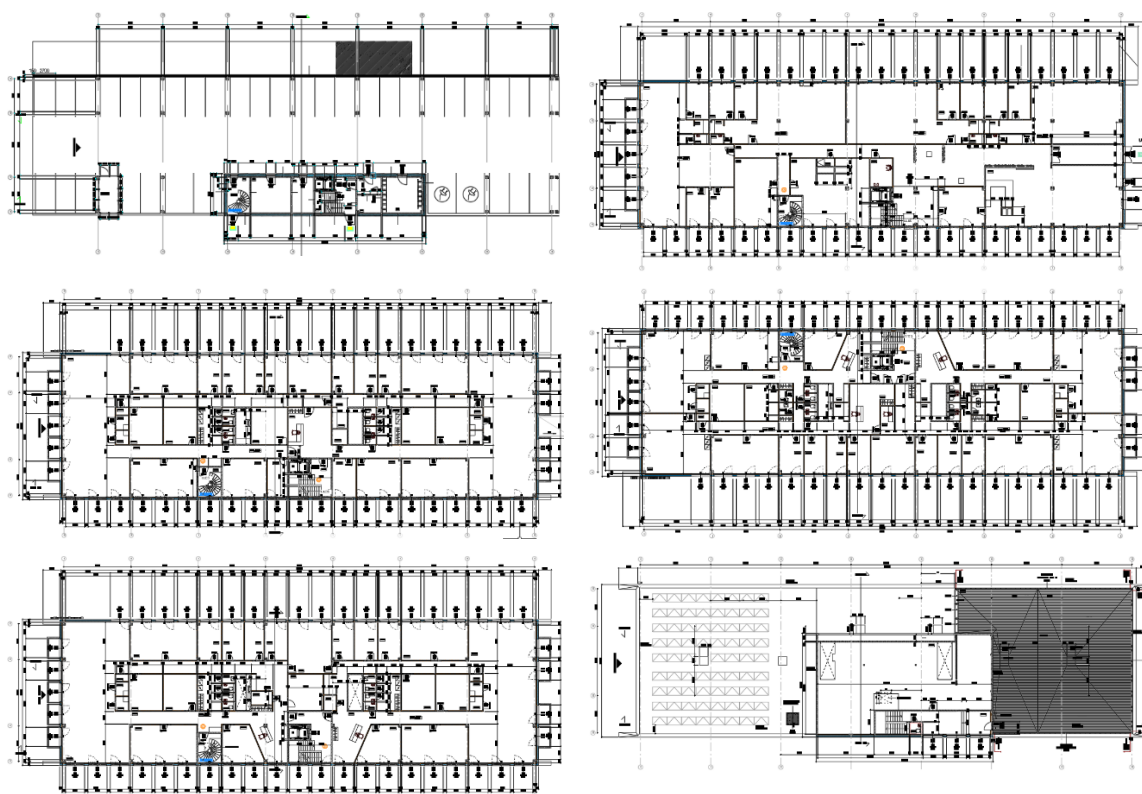
Joonis 2.1 Järvevana tee 7b büroohoone [14]



Joonis 2.2 Järvevana tee 7b büroohoone asukoht [15]

Büroohoone on energiasäästlik tänu maaküttele, mis talvel kütab ja suvel jahutab ning keskkonnasäästlikule arhitektuurile, milles hoone puitfassaadil on ruumide kaitseks päikesekiirte soojendava mõju eest akende ette projekteeritud sirmid ja ribad [14]. Lisaks ammutatakse ligi 75% veest vihmaveest. Veevarustus toimub osaliselt ühisveevärgi ja osaliselt sadevee baasil. Büroohoone katusel paiknevad päikesepaneelid, mis aitavad hoida energiakulud madalad.

Uuritav büroohoone koosneb parklast, kohvikust, kontoridest, tehnilistest ruumidest, abiruumidest, šahtidest, tualettidest, koridoridest, trepikodadest ja liftišahtidest. Büroohoone tüüpkorruste plaanid on toodud Joonisel 2.3 [12].



Joonis 2.3 Tüüpkorruste plaanid, mida kasutati energiaarvutus mudelite koostamiseks. 0. korruse parkla (üleval vasakul); 1. korrus (üleval paremal); 2. korrus (keskel vasakul); 3. korrus (keskel paremal); 4. korrus (all vasakul); 5. korrus (all paremal).

Järvevana tee 7b büroohoone üldandmed on toodud Tabelis 2.8 [12].

Tabel 2.8 Büroohoone üldandmed

Gabariitmõõtmed:	
- pikkus	57,7 m
- laius	17,6 m
- kõrgus	16,3 m
Hoonealune pindala	960,1 m ²
Korruselisus	5
Köetav pindala	3866,3 m ²
Hoone maht	14855,2 m ³

Konstruksioonide soojusjuhtivusetegurid [16]:

- Metallprofiilidega, klaasitud välisüksed:
 - tervikuste U-arv < 1,4 W/m²K,
 - tuletõkkenõuetega tervikuste U-arv < 2,0 W/m²K,
- Silemetallist, klaasiavadeta välisüksed:
 - üheleheliste tervikuste U-arv < 1,6 W/m²K,
 - kaheleheliste tervikuste U-arv < 2,0 W/m²K,
- Siseüksed on vastavalt sisearhitektuurile,
- Plastikprofiilidega aknad:
 - tervikakende U-arv < 0,83 W/m²K,
 - g-arv < 0,24
 - akende R[']w+C_{tr} > 25...42 dB vastavalt Akukon OY Eesti Filiaali poolt teostatud kinnistu mürauuringule (töö nr 154084-1);
- Klaasiavadeta suitsuluugid:
 - tervikluugi U-arv < 1,4 W/m²K,
 - kuumakindluse klass B 600, tuletundlikkuse klass B-s1,d0, tuulekoormuse klass WL 1500, lumekoormuse klass SL 500.

Hoonele kavandatakse kütteallikaks soojuspump, mis on ühtlasi ka jahutusmasin [16]. Kavandatav soojuspump on ühendatud kütte ning jahutussüsteemiga, primaarseks ühenduseks on kinnistule paigaldatav maaküttekontuur. Hoone ammutab energiat maast, lisaks on soojuspumbale paigaldatud elektrikütte elemendid.

Hoone kõik ventilatsioonisüsteemid vajavad järelkütet [16]. Vajalik soojusenergia ammutatakse soojuspump/külmamasinaga varustatud soojussõlmest. Kui soojuspump soojusenergiat ei väljasta on vajalik energia ammutatav elektriküttest, mis dubleerib soojuspumpa avariijuhtudeks.

Peakontori kütmisel kasutatakse termoaktiveeritud konstruktsioone [16]. Betoonlyagedesse ja põrandatesse on paigaldatud plasttorustik, milles ringleb soojuskandja. Soojuskandjat soojendab soojuspump/külmamasin.

Majas on kasutusel veel ka ühtlustusringlus ehk 0 ringlus [16]. Kui kõikide vahelagede temperatuur on saavutatud, avatakse kõik kütte või jahutusventiilid, ning soojuskandja ringleb läbi kõikide kontuuride, ning ühtlustab selliselt kõikide kontuuride temperatuurid. Sellise funktsiooni eeldus on kõikide betoonkonstruktsioonis olevate kontuuride kütte- või jahutusvajadus. Niipea kui mõni kontuuridest vajab erinevat soojuskandjat, ühtlustusringlus lõpetab toimimise.

Hoonesse kavandatud soojuspump teenindab ka hoone jahutussüsteemi [16]. Jahutussüsteemist tulenev liigsoojus suunatakse maakontuuri. Antud lahendus parandab maa temperatuuri ning kütterežiimil on soojuspump/külmamasina kasutegur parem ning süsteem töötab efektiivsemalt.

Kuna peamine kontorihoone kasutab jahutuseks termoaktiveeritud konstruktsioone ning seda peamiselt öisel ajal siis võimsus ei pea olema tagatud täielikult kuid antud objektil tagab soojuspumba jahutusvõimsusnõudluse täielikult [16]. Kuna jahutusvajadus on hoones primaarsem, siis võimused on arvestatud üheaegsus tegurit arvestamata.

Samuti teenindab jahutussüsteem ka serveriruumide temperatuuri [16]. Serveriruumidest tulenev liigsoojus suunatakse tagasi maja küttesüsteemi või maakontuuri pinnasetemperatuuri tõstmiseks. Serveriruumides tekkinud liigsoojus taaskasutatakse.

Lisaks on hoonele planeeritud vabajahutus, kus maa kontuurist tulev vesi juhitaks soojusvahetisse (primaarpoolele), mis ühendab maja jahutustarbija sekundaarpoolele [16]. Vabajahutust saab teha vaid juhul kui hoone ei tarbi kütteenergiat.

Kontorihoone jahutus toimub läbi termoaktiveeritud konstruktsioonide [16]. Jahutuseks kasutatakse betoonlyage, millesse on paigaldatud plasttorustik, milles ringleb jahutatud vesi. Peakontori ventilatsioon sissepuhke õhk jahutatakse. Kõiki jahutuse tarbijad ammutavad jahutatud vedeliku keskest külmajaamast-soojuspump/külmamasinast.

Lisaks kasutatakse nõupidamisruumides jahutusseadmeid, juhul kui konstruktsioonidega jahutus ei taga soovitud sisekliima parameetreid antud ruumis [16]. Nõupidamiste ruumis on seinal ka vastav lüliti, mis deaktiveerib 30 minutiks lisajahutuse kui seda ei soovita. Ruumides paiknevad jahutusseadmed on

eelprogrammeeritud ning kontori kasutajatel pole võimalust neid seadmeid eraldi iseseisvalt juhtida.

Nõupidamisruumidega samal trassil paiknevad ka serveriruumide jahutusseadmed, mis töötavad pidevalt ning peavad serveriruumides tagama ette antud temperatuuri [16]. Serveri jahutuse seadmed on peamiselt dubleeritud või isegi 3 seadet, et tagada serveriruumide jahutus.

2.2.2 Büroohoone energiaarvutuse lähteandmed

Energiaarvutuste lähteandmete ja arvutustulemuste kontrollimisel ja esitamisel tuleb lähtuda hoone energiatõhususe arvutamise metoodika määrusest [4]. Büroohoone energiaarvutuse lähteandmed on toodud Tabelis 2.9 [17].

Tabel 2.9 Energiaarvutuse lähteandmed

Arvutustsoonide arv	26
Küttesüsteemi tüüp:	
- soojuse tootmine ja kütus	Maasoojuspump
- kütus	Elekter
- soojuse jaotamine	Kiirgusküte
Ventilatsioonisüsteemi tüüp	CAV
Jahutussüsteem (on/ei ole)	On

Hoone soojusallikas kütteks ning tarbevee ja ventilatsiooniõhu soojendamiseks on lokaalküte [16]. Tsoonidesse on pandud ideaalsed ruumi küttekehad ja jahutusseadmed mudeli lihtsustamiseks ja netoenergiavajaduse leidmiseks ilma süsteemikadudeta. Pumpade, ventilaatorite, valgustuse ja seadmete netoelektrienergia arvutamiseks lähtuti määruses toodud võimsustest kasutusprofiilidest.

Hoonele kavandatakse kütteallikaks soojuspump, mis on ühtlasi ka jahutusmasin [16]. Kavandatav soojuspump on ühendatud kütte- ja jahutussüsteemiga, primaarseks ühenduseks on kinnistule paigaldatav maaküttekontuur. Hoone ammutab energiat maast, lisaks on soojuspumbale paigaldatud elektrikütte elemendid.

Büroohoone energiaarvutuses võetakse arvesse ventilatsiooni-, kütte-, jahutus- ja lokaalse taastuvenergia süsteem ning vabasoojused [4]. Tabelis 2.10 on toodud töös analüüsitava büroohoone ventilatsioonisüsteemi lähteandmed [17].

Tabel 2.10 Ventilatsioonisüsteem

	Rõhutõste sissep./väljat	Ventilaatori kasutegur sissep./väljat	Õhuvooluhulk sissep./väljat.	Süsteemi SFP	Soojustagasti temperatuuri suhtarv	Väljaviske minimaalne temp.
	Pa/Pa	%/%	m ³ /s / m ³ /s	kW/(m ³ ·s)	%	°C
CAV-1	500/420	50/50	11,1/11,1	1,84*	85*	-5
CAV-2	320/268	40/40	2,6/2,6	1,47	74	2

* Rotor-soojustagastiga süsteemide kaalutud keskmine

Simulatsioonide koostamisel on kasutatatud riiklike lähteandmeid.

Järvevana tee 7b büroohoonesse on projekteeritud maasoojuspump, mille soojusteguriks külmas kliimas ning vajalike peale- ning tagasivoolu temperatuuridega on 4,7 [4]. Soojuse jaotamiseks hoones kasutatakse põrandakütet, mis on reguleeritud ruumitermostaadiga. Samuti kasutatakse hoonesse paigaldatavat soojuspumpa tarbevee soojendamiseks, mille juures on soojustegur 2,7. Tabelis 2.11 on toodud soojuspumbaga küttesüsteemi lähteandmed [4] ja [17].

Tabel 2.11 Küttesüsteem

	Soojusallika kasutegur	Jaotamise ja väljastamise kasutegur	Kütteperioodi keskmine soojustegur	Maasoojus- pumba osakaal	Abiseadmete elektritarbimine
	-	-	-	-	kWh/(m ² ·a)
Ruumide küte	1,0	1,0	4,7	0,985	0,00
Ruumide küte 5. korrusel	1,0	0,85	4,7	0,985	0,00
Ventilatsiooniseade	1,0	1,0	4,7	0,985	-
Tarbevee soojendamine	1,0	1,0	2,7	0,985	-

Jahutussüsteemi lähteandmed on toodud Tabelis 2.12 [17].

Tabel 2.12 Jahutussüsteem

Jahutussüsteem	Jahutusperioodi keskmine jahutustegur	Vabajahutuse keskmine jahutustegur
Tsentraalne	3,60	30,00

Lokaalse taastuvenergia süsteemi lähteandmed on toodud Tabelis 2.13 [17].

Tabel 2.13 Lokaalse taastuvenergia süsteem

	Päikesekollektori aktiivpindala, m ²	Päikesepaneelide max võimsus, kW
PV-paneelid	-	12

Büroohoone piirdetarindite, joon- ja punktsoojuslääbivuste ning õhulekkest tingitud soojuskaod, mis on arvatatud vastavalt eelpool toodud valemitele, on toodud Tabelites 2.14, 2.15 ja 2.16.

Tabel 2.14 Soojuskadu läbi piirdetarindite

Piirdetarind	g	U _i	A _i	H _{juhtivus}
	-	W/(m ² ·K)	m ²	W/K
Välissein		0,12	1540	184,8
Katuslagi		0,09	1016	91,4
Põrand parkla kohal		0,13	1016	132,0
Välisuks		1,00	14	14,0
Aken (kirdesse)	0,30	0,83	61	15,1
Aken (kagusse)	0,38	0,83	397	125,4
Aken (edelasse)	0,30	0,83	92	22,9
Aken (loodesse)	0,30	0,83	369	91,9
H_{juhtivus}, W/K				677,7

Tabel 2.15 Soojuserikadu läbi külmasildade

Joon- või punktsoojuslääbivus	Ψ _j	l _j	H _{joonsoojuslääbivus}
	W/(m·K)	m	W/K
Välissein-välissein (vn)	0,09	75	6,8
Välissein-välissein (sn)	-0,10	0	0,0
Katuslagi-välissein	0,14	195	27,3
Põrand-välissein	0,11	151	16,6
Akna seinakinnitus	0,04	1701	68,0
Ukse seinakinnitus	0,06	29	1,7
H_{joonsoojuslääbivus}, W/K			120,4

Tabel 2.16 Soojuserikaod ventilatsioonist ja infiltratsioonist

Omadus	Suurus	
Õhulekkearv q ₅₀ , m ³ /(h·m ²)	1,5	
A _{vp} (välispiirded), m ²	4505,1	
Korruste arv	5	
Infiltratsioon, l/s	107,4	
H_{õhuleke}, W/K		131,3

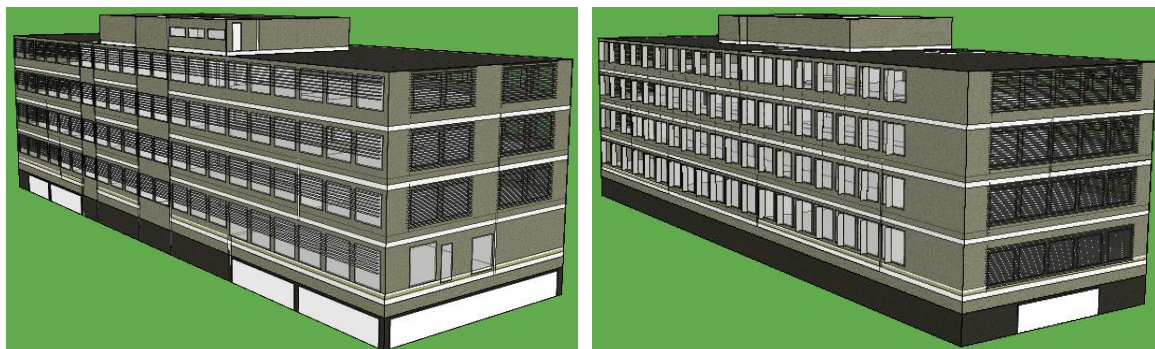
Kogu hoone soojuserikaod:

$$H_{kogu} = 677,7 + 120,4 + 131,3 = 929,4 \text{ W/K}$$

Sellest tulenevalt on hoone välispiirete keskmine soojuslääbivus 0,21 W/(m²·K) ja välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta on 0,24 W/(m²·K).

2.2.3 Büroohoone simulatsioonimudel

Büroohoone energiatõhusus mudeli koostamisel on kontoriruumid, trepikojad ja tehnilised ruumid modelleeritud eraldi tsoonidena. Võrdlusbüroohoone, mis on toodud Joonisel 2.4, koostati selliste tehniliste lahendustega, mis vastavad Eesti hoone energiatõhususe arvutamise metoodikale [4]. Seejärel tõsteti võrdlushoone ühest riigist teise ja tehnosüsteemide seadeväärtusi ning parameetreid korrigeeriti vastavalt kohalikule energiatõhususe hindamise metoodikale.



Joonis 2.4 Järvevana tee 7b IDA-ICE 4.8 mudel kaguvaade (vasakul) ja loodevaade (paremal)

2.3 Energiaarvutuse lähteandmed erinevates riikides

Magistritöö raames koguti riiklikud büroohonete energiatõhususe hindamise metoodikad viiest riigist. Valitud riikideks osutusid Eesti, Soome, Rootsi, Norra ja Taani, mis asuvad sarnase kliimaga vööndis ((ingl k) *Zone 5* – tsoon 5) [6]. Euroopa kliimavööndite kaart, mis sobib tehniliste võimaluste järjestamiseks ja ehitiste jõudluse võrdlemiseks on toodud Joonisel 2.5.



Joonis 2.5 Euroopa kliimavööndite kaart [6]

Vastavalt energiatõhususe direktiivile [1] on iga riik määranud standardkasutusel peamised parameetrid energiaarvutuste jaoks ja sisemiste soojuseralduste kasutusprofiilid arvutusmudeli valideerimiseks.

Standardis ISO/FDIS 17772-1:2016 [18] on toodud rahvusvahelised büroohoone lähteandmed. Määratud on erinevad kasutusprofiilid avatud ja üksik kontorile. Kui avatud kontoris hakatakse inimeste, seadmete ja valgustuse energia kalkulatsiooni tegema alates kell 7:00 kuni 18:00 ning energia kasutused on päeva jooksul erinevad, siis üksik kontoris alates 9:00 kuni 12:00 ja 13:00 kuni 16:00 ning kasutusprofiili väärtus on kogu aeg 1. Teised parameetrid ja seadeväärtused on peamiselt võrdsed.

Eesti määrused hoone energiatõhususe arvutamise metoodika [4] ja hoone energiatõhususe miinimumnõuded [5] on määranud parameetrid, seadeväärtused ja kasutusprofiili ainult avatud kontorile alates kell 7:00 kuni 18:00. Kasutusprofiil muutub päeva jooksul. Neid väärtusi kasutatakse kogu büroohoone köetavas piirkonnas.

Soome keskkonnaministeeriumi määrus [19] uue hoone energiatõhususe kohta on toonud erinevad kasutusprofiilid avatud ja üksik kontorile. Üksik kontori kasutusprofiil on sama, mis rahvusvahelises standardis ISO/FDIS 17772-1:2016 [18] toodud. Alates kell 9:00 kuni 12:00 ja 13:00 kuni 16:00 ning kasutusprofiili väärtus on kogu aeg 1. Avatud kontori kasutusprofiil algab kell 7:00 ja lõppeb 18:00 ning on kogu aeg 0,65. Seadeväärtused ja parameetrid on üksik ja avatud kontoril samad.

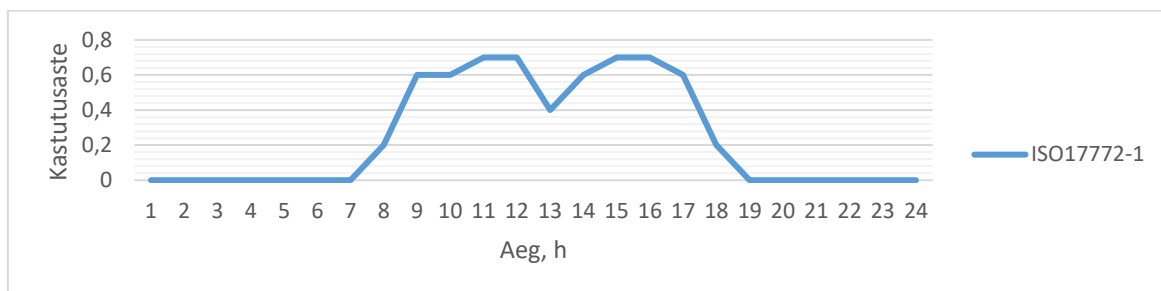
Rootsi [20] on määranud parameetrid ja seadeväärtused ainult avatud kontorile. Neid väärtusi kasutatakse kogu büroohoone köetavas piirkonnas. Kasutusprofiil koostatakse vastavalt projektile aasta keskmiste põhjal.

Norra standard SN/TS 3031:2016 [21] on määranud parameetrid, seadeväärtused ja kasutusprofiili ainult avatud kontorile alates kell 7:00 kuni 17:00. Inimeste ja seadmete kasutusprofiil muutub päeva jooksul, kuid valgustuse oma on kogu aeg 9,62.

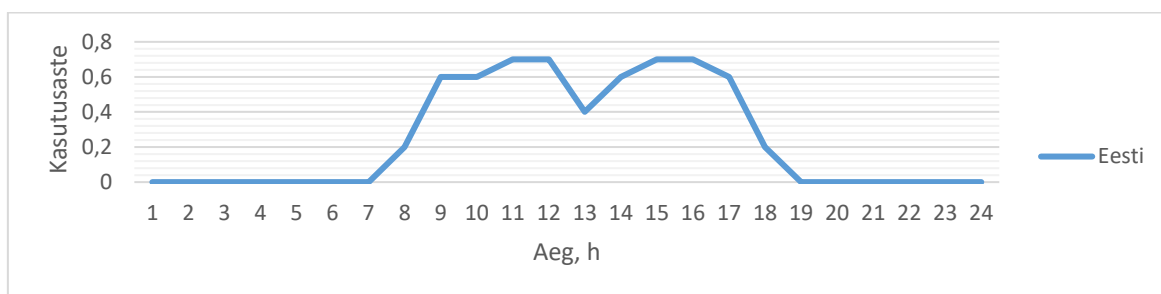
Taanis [22] on kasutusel kaks praktikute juhendit, mis on loodud Taani Ehituse Uurimisinstituudi poolt. Need on praktikute juhend sisekliima arvutuste tegemiseks ning energiaarvutuste jaoks. Lisaks praktikute juhenditele on olemas ka Ehituse Uurimisinstituudi juhend hoonete energiavajaduse kohta, mis täpsustab energiaraami arvutamisel kasutatavaid sisekoormusi ja sooja tarbevee tarbimist. Eriti seoses büroohoonetega annab Taani ehitusseadustik projekterijale teatava vabaduse leppida hoone omanikuga kokku sisekliima seadeväärtuste nõuetes. Taani on määranud parameetrid, seadeväärtused ja kasutusprofiilid nii avatud kui ka üksik kontorile. Parameetrid ja seadeväärtused on neil samad ning algavad kell 7:00 ja lõppevad 17:00.

Kasutusprofiilid jagunevad oma korda kõrgeks, keskmiseks ja madalaks. Nende väärtused on erinevad.

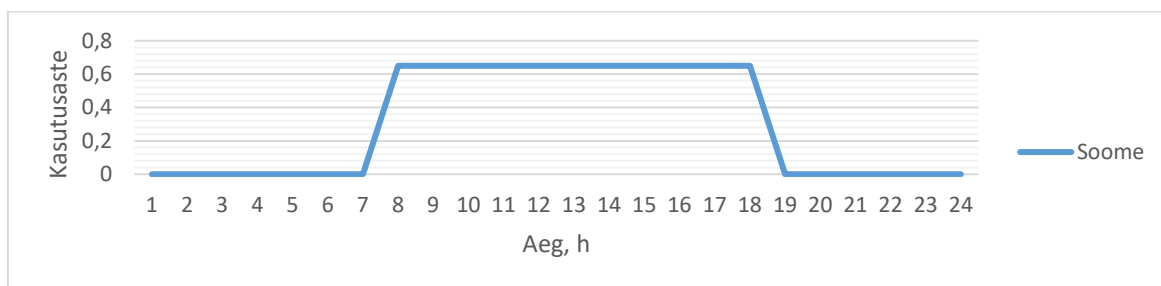
Antud töös kasutati avatud planeerigutega keskmise kasutusastmega kontorite kasutusprofiile. Büroohoone detailsed kasutusprofiilid hõivatuse, seadmete, valgustuse ja sooja tarbevee kohta on toodud Joonistel 2.6 kuni 2.11.



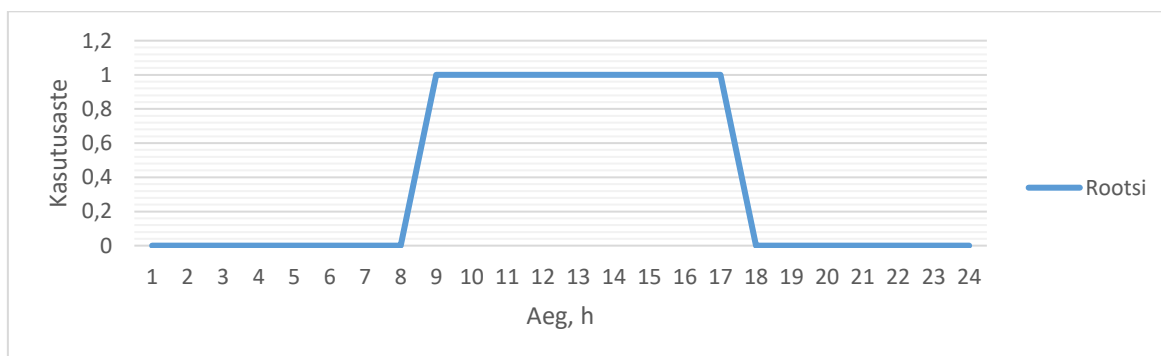
Joonis 2.6 Standardi ISO 17772-1 detailne kasutusprofiil



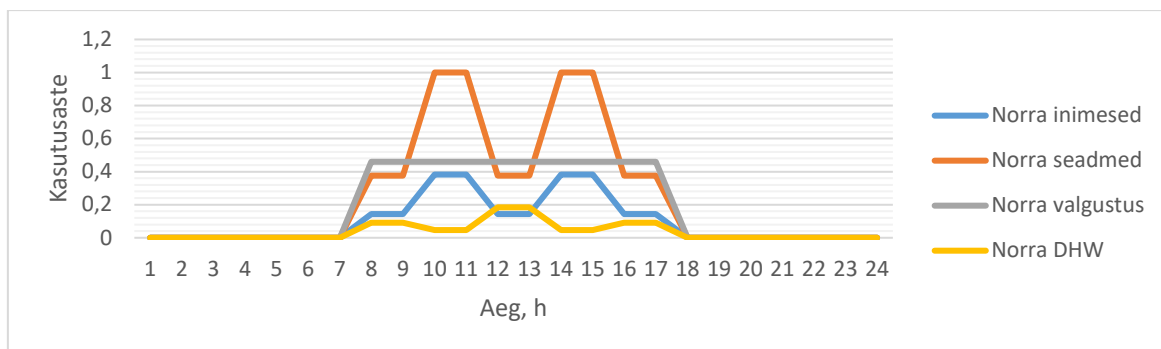
Joonis 2.7 Eesti büroohoone detailne kasutusprofiil



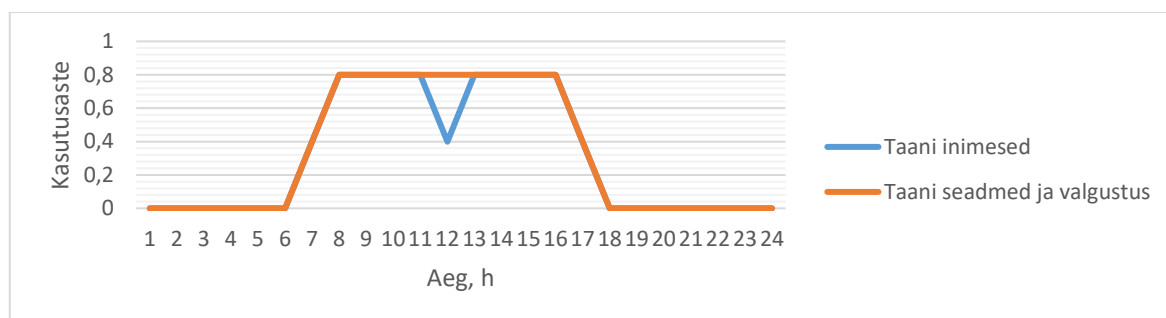
Joonis 2.8 Soome büroohoone detailne kasutusprofiil



Joonis 2.9 Rootsi büroohoone detailne kasutusprofiil



Joonis 2.10 Norra büroohoone detailne kasutusprofiil



Joonis 2.11 Taani keskmise kasutusega büroohoone detailne kasutusprofiil (inimesed, seadmed ja valgustus)

Büroohoone rahvuslikud lähteandmed standardkasutusel energiaarvutuse jaoks on toodud riigiti avatud kontorite puhul Tabelis 2.17 [4] ja [22]. Tabelis on toodud lähteandmete vaikeväärtused, mida kasutatakse, siis kui projektijärgseid võimsusi pole teada.

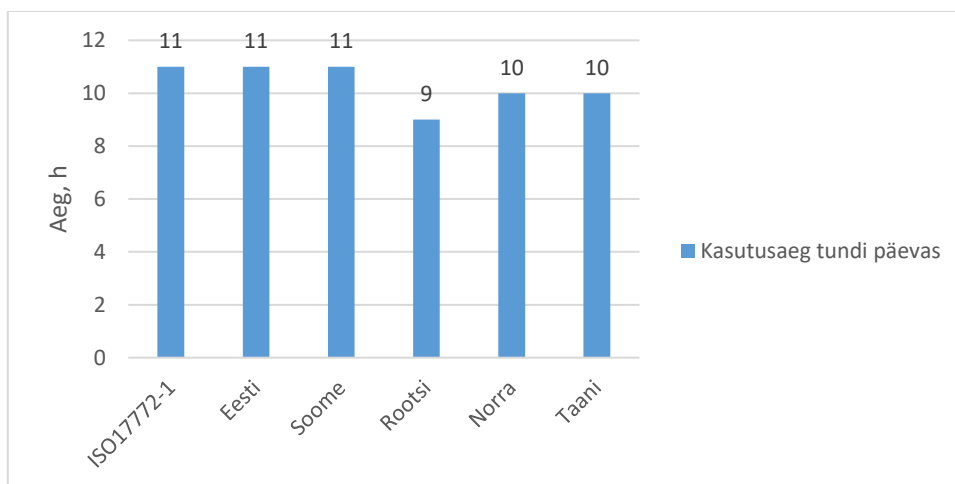
Tabel 2.17 Büroohoone standardkasutuse rahvuslikud lähteandmed riigiti avatud kontorite puhul

Parameetrid	ISO 17772-1	Eesti	Soome	Rootsi	Norra	Taani
Kasutusaja algus	7:00	7:00	7:00	8:00	7:00	7:00
Kasutusaja lõpp	18:00	18:00	18:00	17:00	17:00	17:00
Kasutusaste, -	0,55	0,55	0,65	1	0,30	0,74
Kasutusaeg päeva nädalas	5	5	5	5	5	5
Kasutusaeg tundi päevas	11	11	11	9	10	10
Kasutusaeg tundi aastas	2868	2868	2868	2346	2607	2607
Inimesed, W/m ²	17	17	17	20	10	10
Inimesed ^a , W/m ²	4,7	5	5	5,88	6,67	2,94
Seadmed, W/m ²	12	12	12	14,2	20,92	5,6
Valgustus ^b , W/m ²	N/A	10	12	7,1	9,62	N/A
Kütisseade, °C	20	21	21	21	21	21
Jahutusseade, °C	26	25	25	23	24	26
Õhuvahetus, l/(sm ²)	0,8	2	2	1,5	1,94	0,93
Sooja vee erikulu aastas, l/(m ² a)	100	100	103	116	86,2	100

^a – Inimeste soojuseraldus sisaldab ainult ilmset soojust. Varjatud soojust arvesse võtmiseks tuleb toodud väärtused jagada läbi teguriga 0,6,

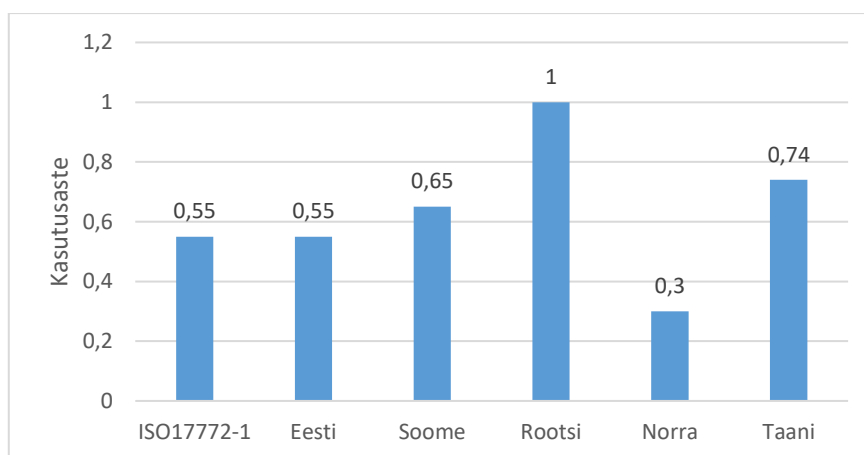
N/A – vastavalt ehitusprojektile.

Büroohoone standardkasutuse Tabelist 2.17 selgub, et büroohoone kasutusaeg on Eestis ja Soomes kõige pikem 11 tundi ajavahemikel 7:00 kuni 18:00. Sellele järgneb Norra ja Taani, kus on kasutusaeg 10 tundi alates samuti 7:00 ja lõppedes üks tund varem 17:00. Kõige lühem kasutusaeg 9 tundi on Rootsis alates üks tund hiljem 8:00 ja lõppedes 17:00. Kõikides uuritud riikides on kasutuspäevade arv nädalas võrdselt 5 päeva. Büroohoone kasutusaeg on toodud riigiti Joonisel 2.12.



Joonis 2.12 Büroohoone kasutusaeg riigiti

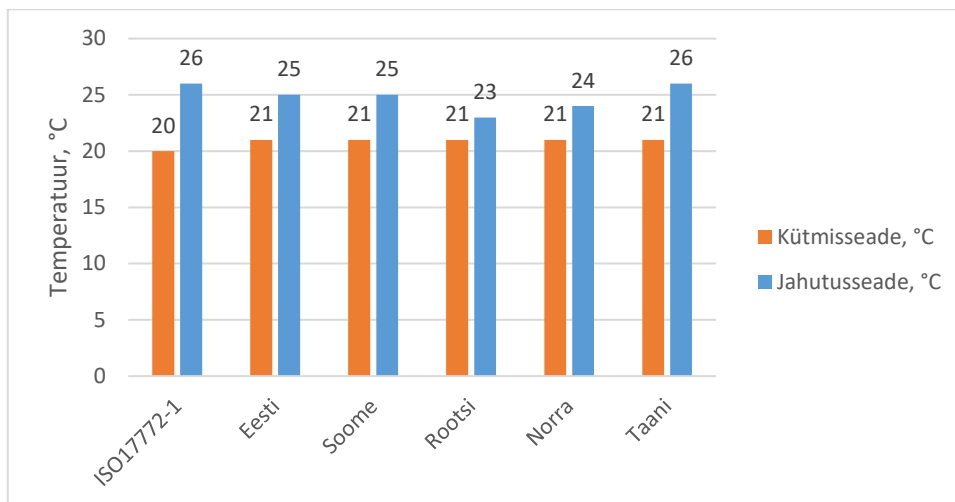
Kasutusaste varieerub 0,30 kuni 1. Kõige suurem kasutusaste 1 on Rootsis ning sellele järgneb Taani, kus on kasutusaste 0,74. Eestis ja Soomes on kasutusastmed peaaegu võrdsed vastavalt 0,55 ja 0,65. Kõige väiksem kasutusaste 0,3 on Norras. Büroohoone kasutusaste on toodud riigiti Joonisel 2.13.



Joonis 2.13 Büroohoone kasutusaste riigiti

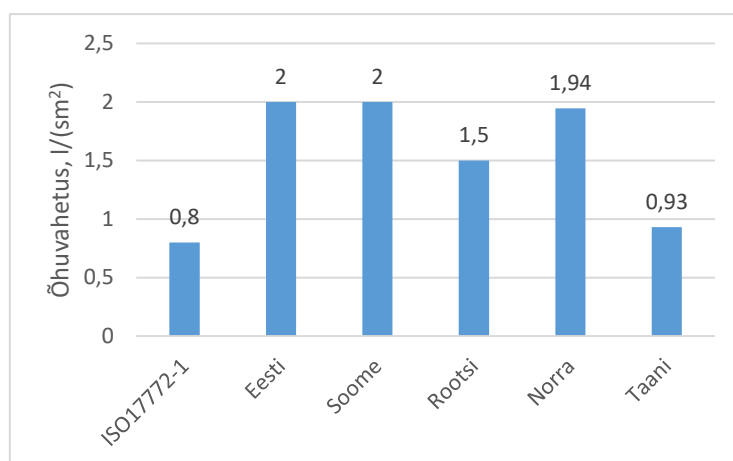
Kütisseadme temperatuur on kõikides riikides võrdselt 21°C, kuid rahvusvahelises standardis ISO 17772-1 20°C. Jahutusseadme väärtus varieerub vahemikus 23 kuni 26. Kõige madalam jahutusseadme väärtus on Rootsis 23°C. Sellele järgneb Norra 24°C

ning Eesti ja Soome võrdselt 25°C. Kõige kõrgem jahutusseadme temperatuur on Taanis 26°C. Ka rahvusvahelises standardis ISO 17772-1 on jahutusseadme temperatuuriks 26°C. Büroohoone maksimaalsed ja minimaalsed temperatuurid on toodud riigiti Joonisel 2.14.



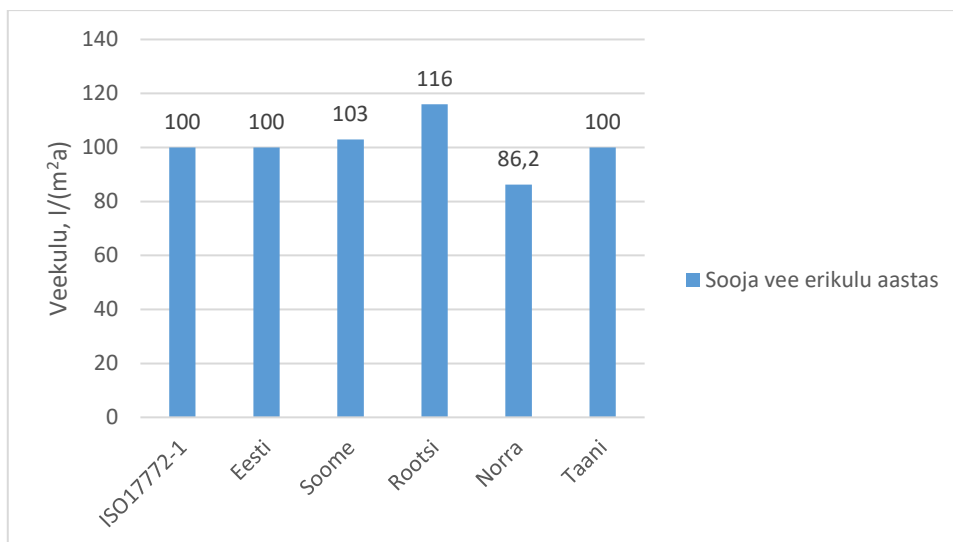
Joonis 2.14 Büroohoone maksimaalsed ja minimaalsed temperatuurid riigiti

Õhuvahetused kasutusajal varieeruvad vahemikus 0,8 kuni 2 l/(s·m²). Kõige suurem pöörlemissagedus ruutmeetri kohta on Eestis ja Soomes 2 l/(s·m²). Sellele järgneb Norra 1,94 l/(s·m²). Edasi Rootsi 1,5 l/(s·m²) ning Taani 0,93 l/(s·m²). Kõige väiksem pöörlemissagedus ruutmeetri kohta on rahvusvahelises standardis ISO 17772-1 0,8 l/(s·m²). Büroohoone õhuvahetused on toodud riigiti Joonisel 2.15.



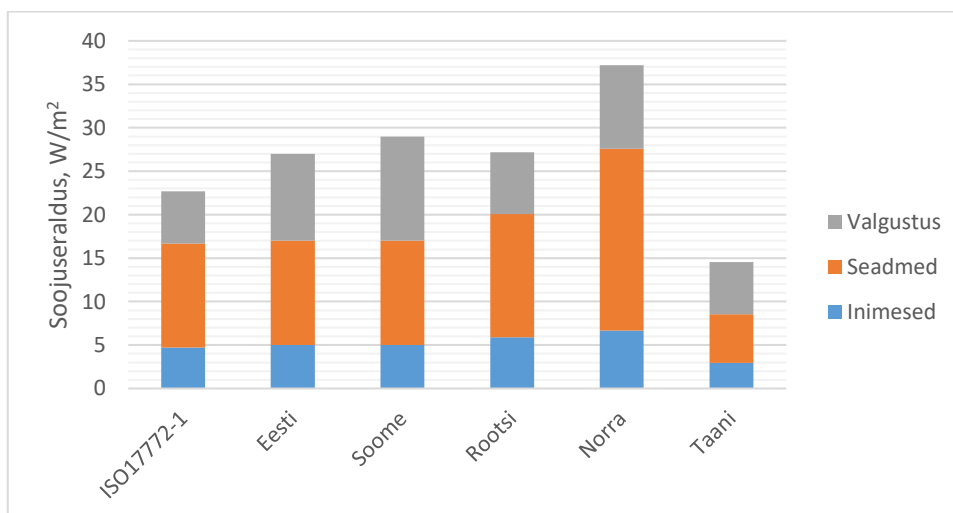
Joonis 2.15 Büroohoone õhuvahetused riigiti

Sooja tarbevee kasutus varieerub vahemikus 86,2 kuni 116 l/(m²·a). Kõige suurem sooja tarbevee kasutus on Rootsis 116 l/(m²·a). Sellele järgneb Soome 103 l/(m²·a) ning Eesti ja Taani 100 l/(m²·a). Kõige väiksem sooja tarbevee kasutus on Norras 86,2 l/(m²·a). Büroohoone sooja tarbevee kasutus aastas on toodud riigiti Joonisel 2.16.



Joonis 2.16 Sooja tarbevee erikulu aastas

Seadmed toodavad kõige rohkem vabasoojust. Sellele järgneb valgustus ning seejärel inimesed. Seadmed toodavad Eestis, Soomes ja Rootsis poole rohkem vabasoojust kui Taanis. Kõige suurem vabasoojuse eraldus seadmetelt on Norras. Valgustuse soojuseraldus on vahemikus 6 kuni 12 W/m². Inimeste soojuseraldus on Eestis, Soomes, Rootsis ja Norras enam-vähem võrdne ning Taanis poole väiksem. Büroohoone inimeste, seadmete ja valgustuse vabasoojuse võrdlus riigiti on toodud Joonisel 2.17.



Joonis 2.17 Vabasoojused riigiti

Simulatsioonides kasutati paigaldatud valgustuspaigaldise LED-valgustuse võimsust, milleks oli 6 W/m². LED valgustite valiku tegemisel on oluline jälgida, et:

- tööpiirkonna valgustihedus ei langeks alla 500 lx,
- väljavahetatavate valgustite arv oleks esialgse lahendusega võrdne,
- väljavahetatavate valgustite kuju ja paigaldusviis jääksid samaks.

3. TULEMUSED

Eesti, Soome, Rootsi, Norra ja Taani büroohonete kogutud energiatõhususe hindamise meetodikate (vabasoojused, kasutusprofiilid, sisekliima parameetrid jne) ja Eesti liginullenergiahoone nõude (arvesse võetud energiatarbijad, energiakandjate kaalumistegurid, hinnatavad parameetrid ning nende piirmäärad jne) võrdluste tulemused on toodud alljärgnevalt.

3.1 Projekteeritud hoone energiatõhusus

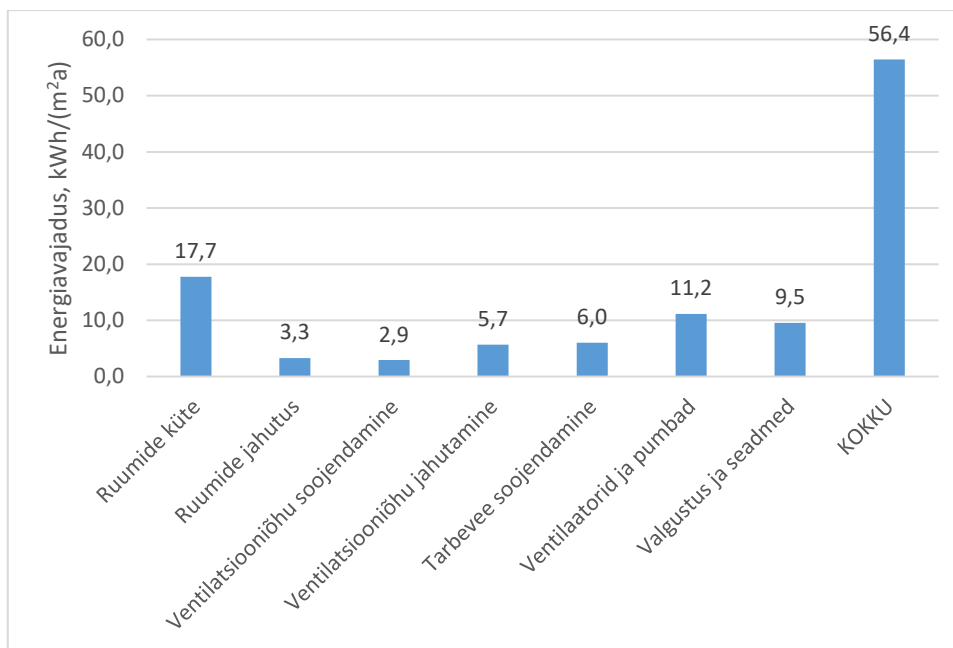
Uuritud büroohoone Järvevana tee 7b kogu netoenergiavajaduse leidmiseks iga väljavalitud meetme kohta, teostati 10 energiasimulatsiooni. Seejärel arutati välja hoone summaarne energiakasutus ehk brutoenergia, mis võtab arvesse süsteemikaod ja energia muundumised, nt külmajaama jahutustegurit, küttesüsteemi efektiivsust, soojussõlme kasutegurit. Edasi leiti Eesti mudelile hoone energiatõhususarv.

Projekteeritud büroohoone energiatõhusus leiti vastavalt Eesti, Soome, Rootsi, Norra ja Taani riiklike määruste tüüpilistele tehnilistele lahendustele. Parema võrdluse saamiseks arutati hoone läbi ka rahvusvahelise standardi ISO/FDIS 17772-1:2016 [18] lähteandmetega.

Antud bürooohoones ei teostatud suvise ruumitemperatuuri arvutust, sest hoonesse on projekteeritud ja ehitatud jahutussüsteem.

3.1.1 Büroohoone energiavajadus

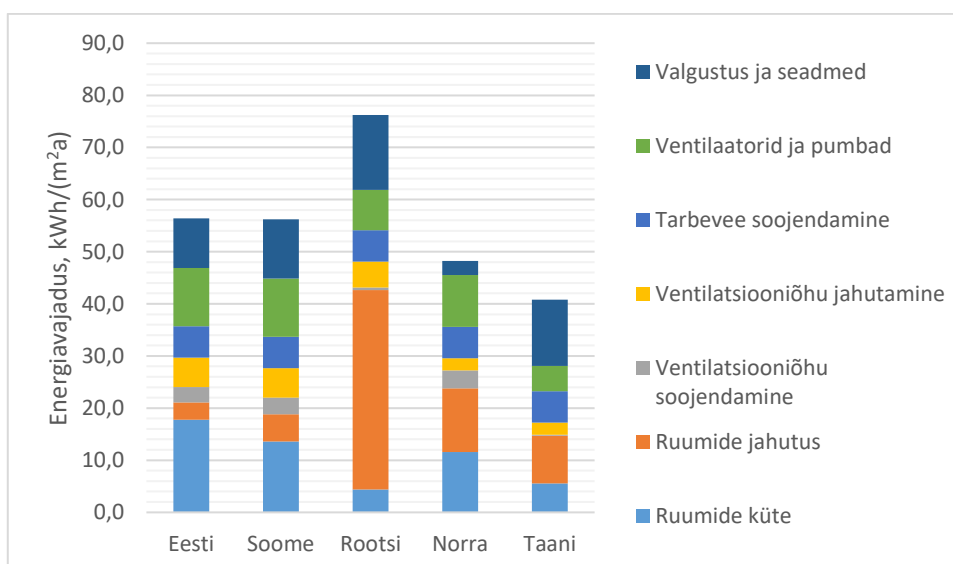
Energiatõhususarvu arvutamisel leiti kõigepealt tehnosüsteemide netoenergiavajadused. Netoenergia arvutati tehnosüsteemide kaupa, võttes arvesse kadusid ja energiamuundamisi. Netoenergiavajadus ruumide kütteks ja jahutamiseks, ventilatsiooniõhu soojendamiseks ja jahutamiseks, tarbevee soojendamiseks, ruumide valgustamiseks ning seadmete kasutamiseks saadi energiasimulatsiooni programmiga IDA-ICE 4.8. Eesti tingimustes arvatud büroohoone energiavajadus on toodud Joonisel 3.1.



Joonis 3.1 Eesti sisendandmetega võrdlushoone energiavajadus

Jooniselt 3.1 on näha, et Eesti sisendandmetega võrdlushoone energiavajadusest üks kolmandik läheb ruumide küttele. Tulemused näitavad, et kõige rohkem kulub energiat ruumide küttele 17,7 kWh/(m²·a), millele järgnevad ventilaatorid ja pumbad, valgustus ja seadmed, tarbevee soojendamine, ventilatsiooniõhu jahutamine, ruumide jahutus ja ventilatsiooniõhu soojendamine.

Erinevates riikides kohaliku simulatsioonide meetodikaga arvatud büroohoone energiavajadus on toodud Joonisel 3.2.

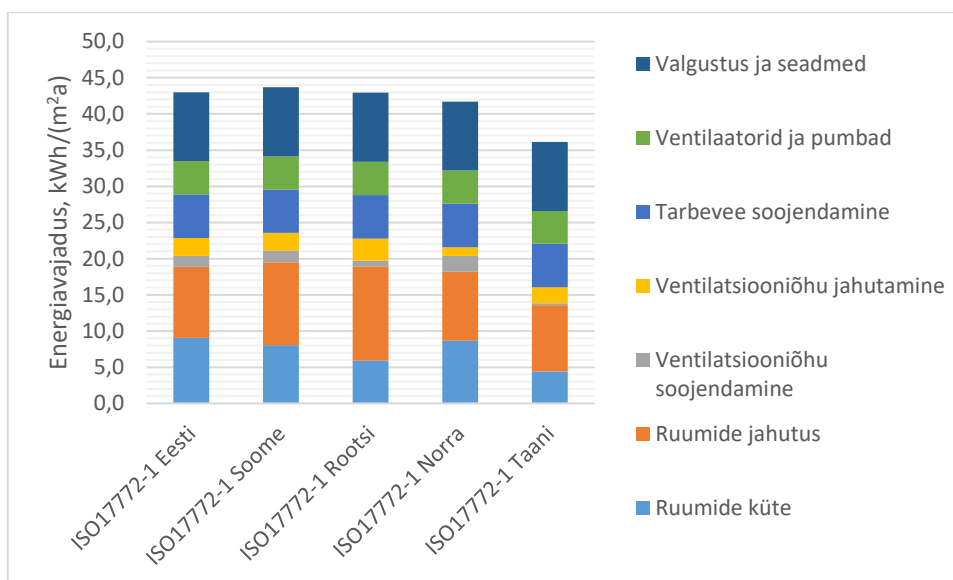


Joonis 3.2 Riiklike sisendandmetega võrdlushoone energiavajadus

Eesti ja Soome büroohonete riiklikud sisendväärtused on peaaegu samad, välja arvatud paigaldatud valgustite ja seadmete energia ning sooja tarbevee tarbimine ja

ruumide jahutus. Kuna Taani energiatõhususe hindamise metoodikas on madalaim seadmetele paigaldatud võimsus ja ventilaatorite pöörlemissagedus nii kasutusajal kui ka kasutusaja välisel ajal ning kõrgeim jahutusseadme temperatuur 26°C, siis on Taani tulemused viiest riigist madalaimad. Tulemused näitavad, et kõige suurem energiavajadusega on Rootsi büroohoone, millele järgnevad Eesti, Soome, Norra ja Taani hooned. Jahutusseadme temperatuuride väärtused mõjutavad märkimisväärselt energiavajaduse tulemusi, nagu on Joonisel 3.2 näha. Kuna Rootsi energiatõhususe hindamise metoodikas on madalaim jahutusseadme seadeväärtus 23°C ja kõrgeim paigaldatud seadmete võimsus 15,31 W/m², siis on ka Rootsi büroohoone energiavajadus teistest riikidest hüppeliselt suurem.

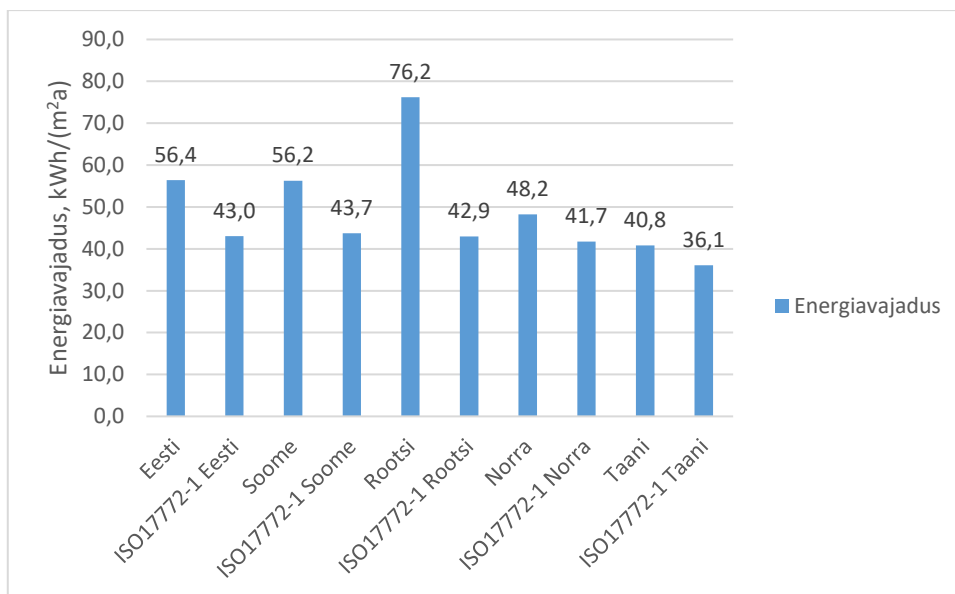
Erinevates riikides ISO 17772-1 metoodikaga arvatud büroohoone energiavajadus on toodud Joonisel 3.3.



Joonis 3.3 Rahvusvahelise standardi ISO 17772-1 sisendandmetega võrdlushoone energiavajadus

Kõige suurema energiavajadusega on büroohoone, mis asub Soome kliimas. Sellele järgnevad Eesti, Rootsi, Norra ja Taani kliimas asuvad hooned.

Kohaliku metoodika ja rahvusvahelise standardi ISO 17772-1 lähteandmete järgi arvatud tulemused on toodud kõrvuti Joonisel 3.4, et saaks võrrelda energiatõhususe hindamise metoodikate mõju riikide kaupa.



Joonis 3.4 Büroohoone energiavajaduste võrdlus

Kui võrrelda rahvusvahelise standardi ISO 17772-1 energiatõhususe hindamise meetodikate tulemusi vastavate riiklike nõuetega, siis täideti riiklik nõue kõigil juhtudel.

Järvevana tee 7b kasutab lokaalselt toodetud taastuvenergiat. Selleks on büroohoone katusele paigaldatud edelasse (225°) suunatud päikesepaneelid, mis toodavad elektrienergiat mahus 12 kW. Päikesepaneelide aastase elektritoodangu arvutuses võeti arvesse sellest hoones tarbitud osa. Päikeseenergia arvutuseks kasutati energiaarvutuste baasaastat.

Energiaõhususarvu leidmiseks arvutati päikesepaneelidega toodetud aastane elektrienergia. Selleks võeti arvesse, et kõige optimaalsem nurk lamekatusele asetatud päikesepaneelidele on 15°, sest see tagab piisava tootlikkuse [23]. Päikesepaneeli kaldenurga järgi leiti määrusest [4] paneeli suunategur 1,08. Seejärel arvutati päikesepaneeli pinnale tulev aastane päikeseenergia:

$$Q_{päike} = 945 \cdot 1,08 = 1020,6 \text{ kWh/a}$$

Päikesepaneeliga toodetud aastase elektrienergia arvutamisel võeti arvesse, et päikesepaneeli kasutegur on 0,8, sest päikesepaneelid on paigaldatud katusele. Arvutustulemused on toodud Tabelis 3.1.

Tabel 3.1 Päikesepaneeliga toodetud aastane elektrienergia E_{pan} (kWh/a)

Riik	Aastane päikeseenergia, kWh/a	PV-paneeli toodetud aastane elektrienergia, kWh/a	PV-paneeli toodetud aastane elektrienergia, kWh/(m²·a)
Järvevana tee 7b	1020,6	9797,76	2,53

Päikesepaneelide omatarve on 90%. Seega hoone tarbib 8817,98 kWh/a päikesepaneelide poolt toodetud energiast koha peal ning 979,78 kWh/a eksporditakse energiavõrkudesse.

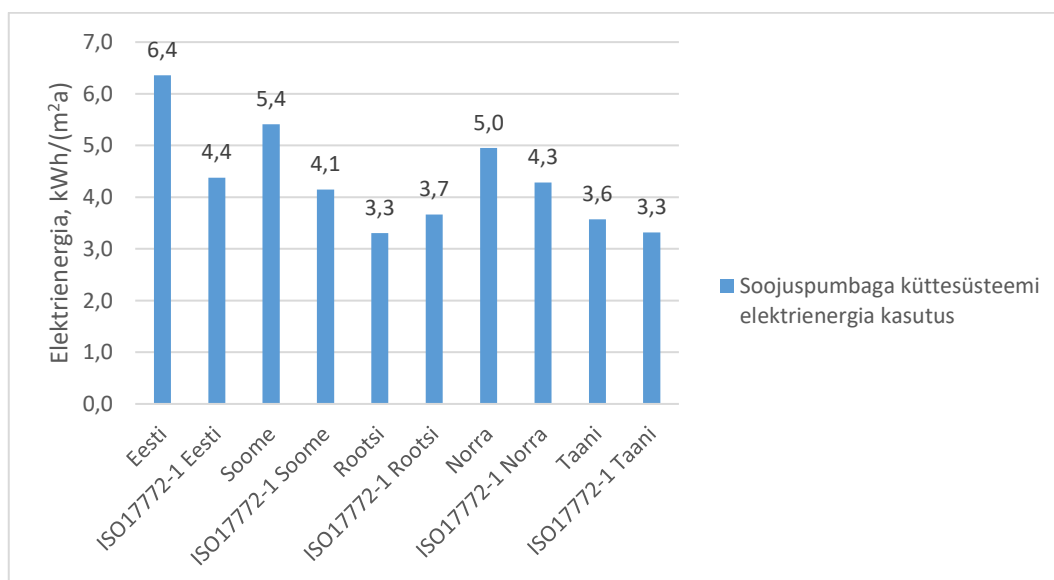
3.1.2 Büroohoone tarnitud energia

Energiavajaduse põhjal arutati tarnitud energia. Arvesse võeti süsteemide kasuteguri, efektiivsuse ning abi- ja lisaseadmete elektritarbimine. Summaarse tarnitud energia saamiseks liideti kokku kõik hoone sisekliima tagamiseks vajalikud tehnosüsteemide energiakasutused, võttes arvesse kadusid ja energiamuundamisi.

Küttesüsteemi elektri- ja soojusenergiakasutus arutati vastavalt küttesüsteemi kasutegurile ning soojuspumpsüsteemi soojustegurile ja abiseadme elektritarbimisele. Kombineeritud küttesüsteemis arutati soojuspumbaga toodetud soojusenergia, lähtudes soojuspumba soojuslikust võimsusest, hetkelisest võimsusvajadusest ja seda vähendavast vabasoojuse võimsusest vastavalt kasutusajale ja vabasoojusele.

Soojuspumba nominaalse soojusvõimsuse ja ruumide küttekoormuse suhe on $237/295 = 0,803$.

Maasoojuspumbaga toodetud soojusenergia osakaal ruumide kütte ja sooja tarbevee netoenergia vajaduse järgi leitud maasoojuspumbaga küttesüsteemi elektrienergia kasutus on toodud Joonistel 3.5. Arvutuste lihtsustamiseks kasutati igas kliimas sama soojuspumpsüsteemi aasta keskmist soojustegurit ning lisakütte osakaalu.



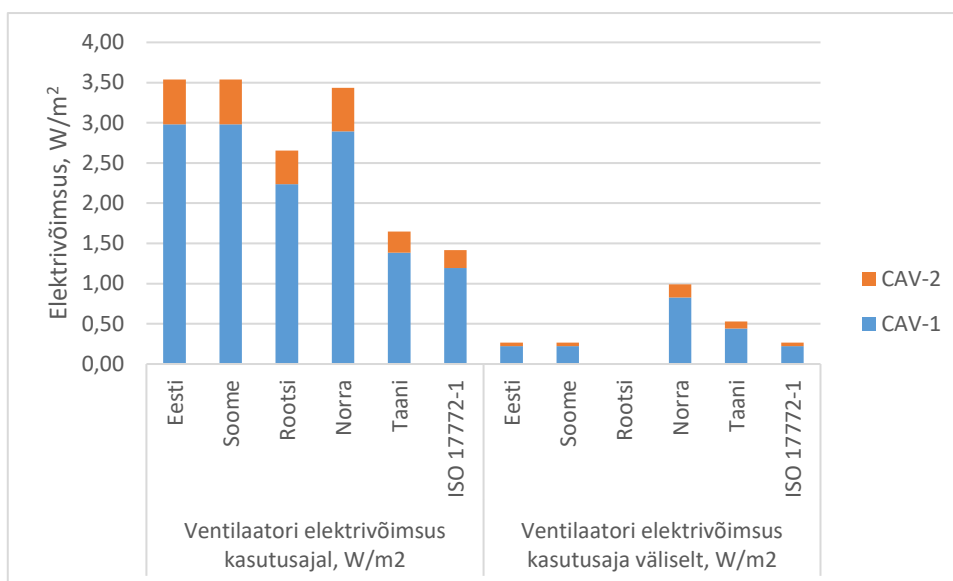
Joonis 3.5 Maasoojuspumbaga küttesüsteemi elektrienergia kasutus riigiti

Kui võrrelda rahvusvahelise standardi energiatõhususe hindamise meetodikate tulemusi vastavate riikide kohalike nõuetega, siis täideti riiklik nõue kõigil juhtudel, välja arvatud

Rootsi juhtum. Seega on Rootsi puhul kütteseadme seadeväärtuse temperatuur 21°C liiga range nõue. Tuleks rakendada rahvusvahelise standardi ISO 17772-1 nõue 20°C.

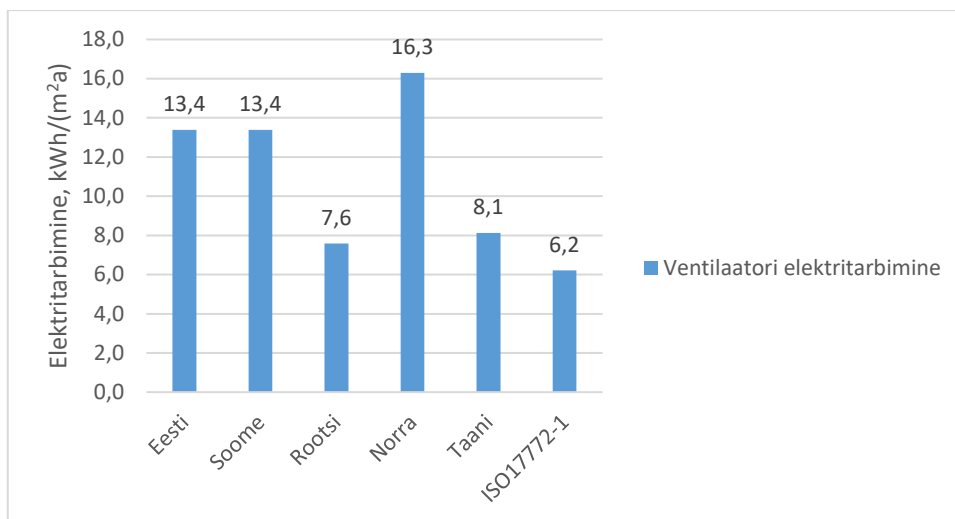
Järvevana tee 7b büroohoones on korraga kasutusel kaks ventilatsioonisüsteemi. Iga ventilaatori elektritarbimine arutati eraldi. Elektrikasutuse efektiivsus leiti ventilatsioonisüsteemi elektrilise erivõimsuse järgi arvutuslikul õhuvooluhulgal. Erivõimsus on süsteemi summaarse võimsuse ja õhuvooluhulga suhtarv. Arvesse võeti, et CAV-1 õhuvooluhulgaks on 81% kogu õhuvooluhulgast ja CAV-2 õhuvooluhulgaks 19%. Nii kasutusaja siseselt kui ka kasutusaja väliselt on õhuvooluhulk riigiti erinev.

Ventilaatori elektrivõimsused P_v on toodud Joonisel 3.6.



Joonisel 3.6 Ventilaatori elektrivõimsus

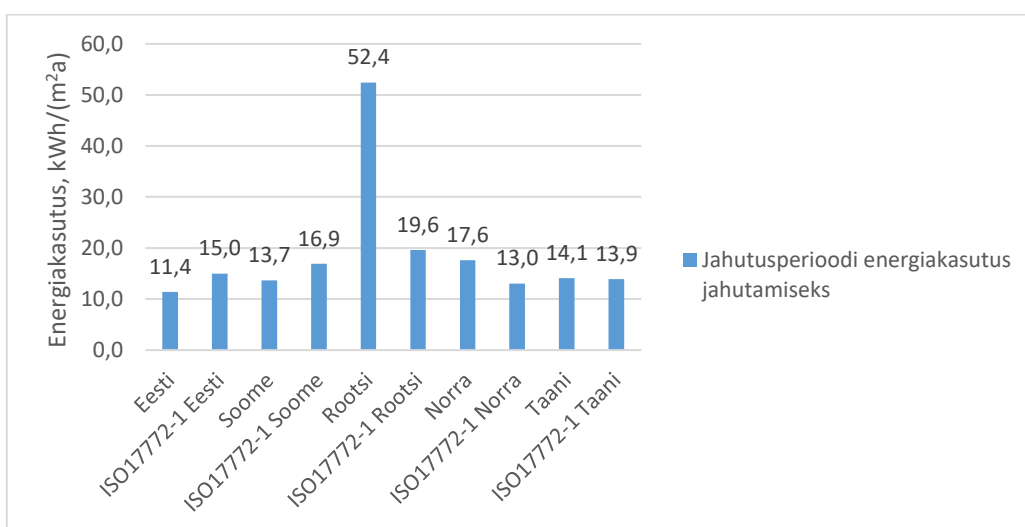
Ventilatsiooni vajaduse arutamisel lähtuti sellest, et ventilatsioon käivitub üks tund enne hoone kasutusaja algust ja lülitub kasutusaja välisesse režiimi üks tund pärast hoone kasutusaja lõppu välja arvatud Rootsi, kus see lülitub välja kaks tundi pärast tööpäeva lõppu. Ventilatsiooniseadme ventilaatori elektritarbimine on vastavalt kasutusaja ja kasutusaja välise aja õhuvooluhulgale toodud Joonisel 3.7.



Joonis 3.7 Ventilatsioonissüsteemi elektrienergia kasutus riigiti

Rahvusvahelise standardi ISO 17772-1 nõude ventilaatori elektritarbimine oli riiklike nõuete omast parem. Rootsi ja Taani ventilaatori elektritarbimine on ligi kaks korda väiksem kui Eestis, Soomes ja Norras, sest nii Rootsi kui ka Taani energiatõhususe hindamise meetodikate regulatsioonides on madalamad ventilatsioonimäärad.

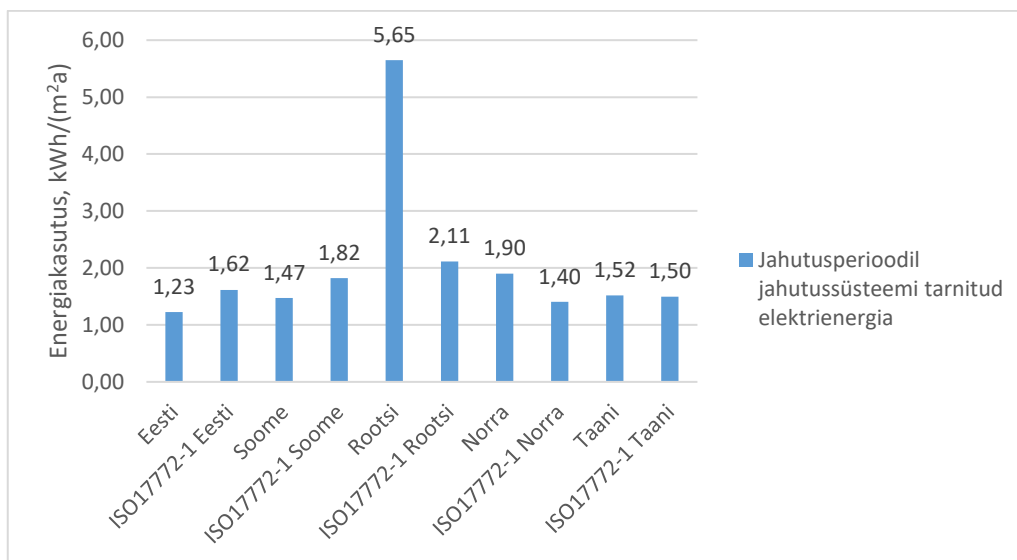
Jahutussüsteemi energiakasutus koosneb jahutusenergia tootmiseks, jaotamiseks ja väljastamiseks ning vajaliku abiseadme käitamiseks vajalikust energiast. Energiakasutusest elektrienergia kasutuse arvutamisel kasutati jahutussüsteemi ja vabajahutuse aasta keskmisi soojustegureid, mis on vastavalt 3,6 ja 30. Eeldati, et 90% jahutusvajadusest on võimalik katta vabajahutusega. Jahutusperioodi energiakasutus jahutamiseks koos kondenseerumiskadudega ning jahutusenergia jaotamise ja väljastamise soojuskadudega arvutati jahutuse netoenergiavajaduse põhjal on toodud Joonisel 3.8. Arvutuses vajalikud netoenergiavajadused saadi simulatsiooniprogrammist IDA-ICE 4.8.



Joonis 3.8 Jahutusperioodi energiakasutus jahutamiseks riigiti

Kui võrrelda rahvusvahelise standardi energiatõhususe hindamise meetodikate tulemusi vastavate riikide kohalike nõuetega, siis täideti riiklik nõue Taani, Norra ja Rootsi juhtudel. Nii Eesti kui ka Soome puhul on riiklikud nõuded paremad kui rahvusvahelise standardi ISO 17772-1 nõuded.

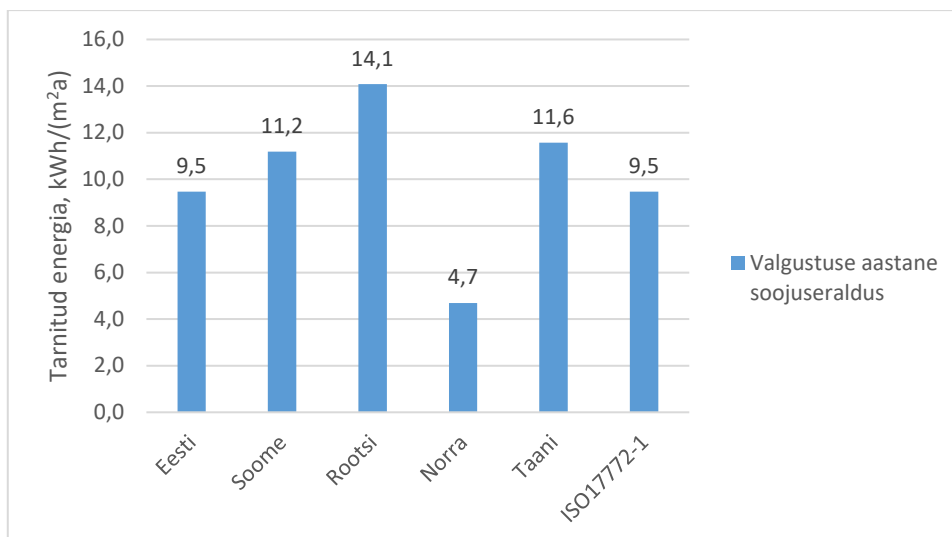
Vabajahutusega jahutussüsteemi elektrienergia kasutus hoones kui kasutatav jahutusenergia toodetakse vabajahutuse ja kompressorjahutusmasinaga. Jahutusperioodil jahutussüsteemi tarnitud elektrienergia on toodud Joonistel 3.9.



Joonis 3.9 Jahutusperioodil jahutussüsteemi tarnitud elektrienergia riigiti

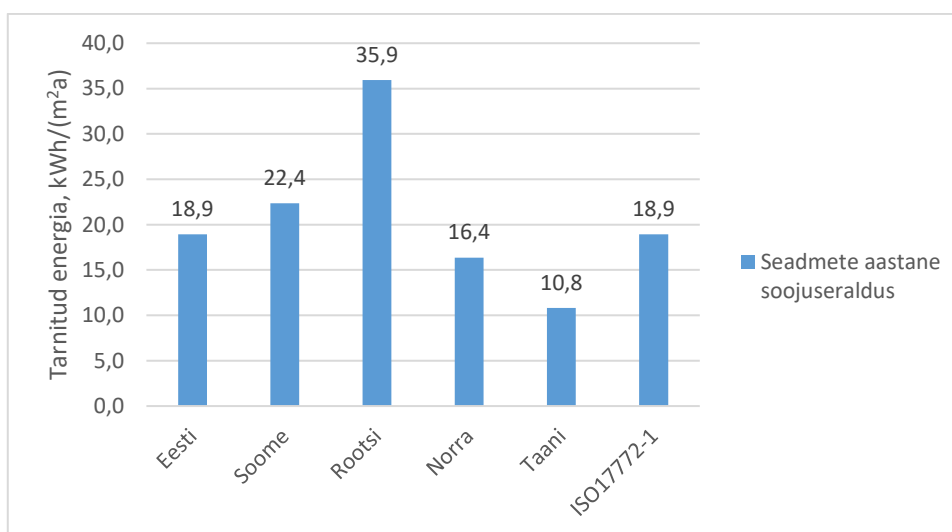
Jahutusperioodil jahutussüsteemi tarnitud elektrienergia tulemuste võrdlused on võrdsed jahutusperioodil jahutamiseks kasutatud energiaga. Rootsi riiklik energiakasutus jahutusperioodil jahutussüsteemis on hüppeliselt suurem, sest Rootsi energiatõhususe hindamise meetodikas on madalaim jahutusseadme seadeväärtus 23°C.

Valgustuse ja seadme elektritarbimine võrdub energiaarvutuses valgustuse ja seadme soojuseraldusega. Kasutusaste on keskmine valgustuse ja seadme kasutusaste hoone kasutusaja jooksul. Energiaarvutuse jaoks korrutati suurim soojuseraldus kasutusastmega. Valgustuse ja seadmete aastane soojuseraldus on toodud vastavalt Joonistel 3.10 ja 3.11. Järvevana tee 7b büroohoones on kasutusel LED-valgustus, mille erivõimsus on projekti kohaselt 6 W/m².



Joonis 3.10 Valgustuse aastane soojuseraldus riigiti

Valgustuse riiklikud nõuded täideti rahvusvahelise standardiga ISO 17772-1 kõigil juhtudel, välja arvatud Norra juhtum, sest Norra kasutusaste on väikseim. Tulemused näitavad, et kõige suurem valgustuse aastane soojuseraldus on Rootsis, sellele järgnevad Taani, Soome, Eesti ja Norra juhtumid. Kasutusajad ja kasutusastmed mõjutavad märkimisväärselt energiakasutuse tulemusi, nagu on Joonisel 3.10 näha.

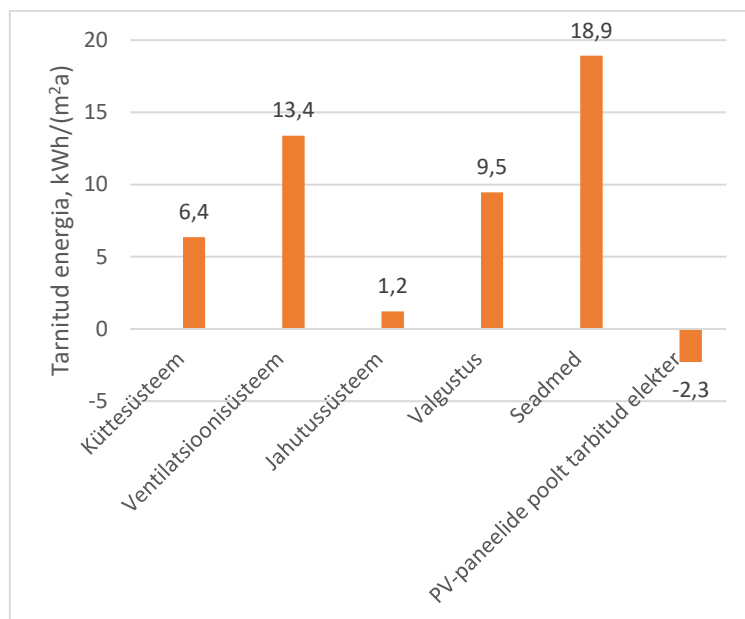


Joonis 3.11 Seadmete aastane soojuseraldus riigiti

Seadmete riiklikud nõuded täideti kõigil juhtudel, välja arvatud Norra ja Taani juhtum, sest Norra kasutusaste on väikseim ning Taani seadmete vabasoojus on teistest poole väiksem 5,6 W/m². Tulemused näitavad, et kõige suurem seadmete aastane soojuseraldus on Rootsis, sellele järgnevad Soome, Eesti, Norra ja Taani juhtumid. Kasutusajad ja kasutusastmed ning seadeväärtused mõjutavad märkimisväärselt energiakasutuse tulemusi, nagu on Joonisel 3.11 näha.

Energiaarvutusega määrati hoone summaarne energiakasutus hoone sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks ja elektriseadmete kasutamiseks. Summaarse energiakasutuse alusel määrati tarnitud energia. Summaarsed energiakasutused, millest on maha arvatud lokaalne taastuenergia on toodud alljärgnevalt. Küttesüsteemi energiakasutuses on arvesse võetud ruumide küte ning ventilatsiooniõhu ja tarbevee soojendamine.

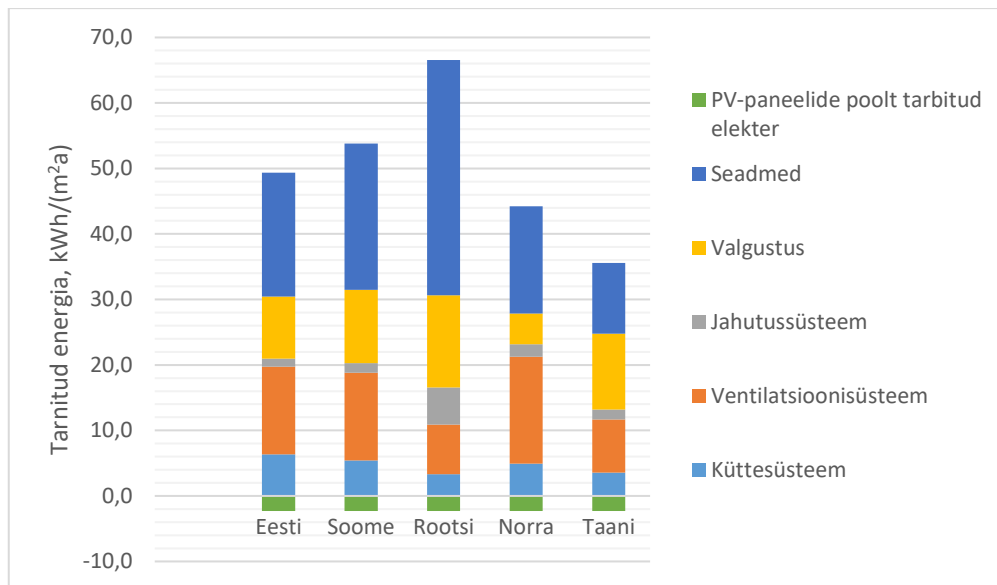
Eesti tingimustes arvatatud büroohoone tarnitud energia on toodud Joonisel 3.12.



Joonis 3.12 Eesti sisendandmetega võrdlushoone energiakasutus

Tulemused näitavad, et Eesti sisendandmetega võrdlushoones tarbivad seadmed kõige rohkem energiat 18,9 kWh/(m²·a), millele järgnevad ventilatsioonisüsteem, valgustus, küttesüsteem ja jahutussüsteem.

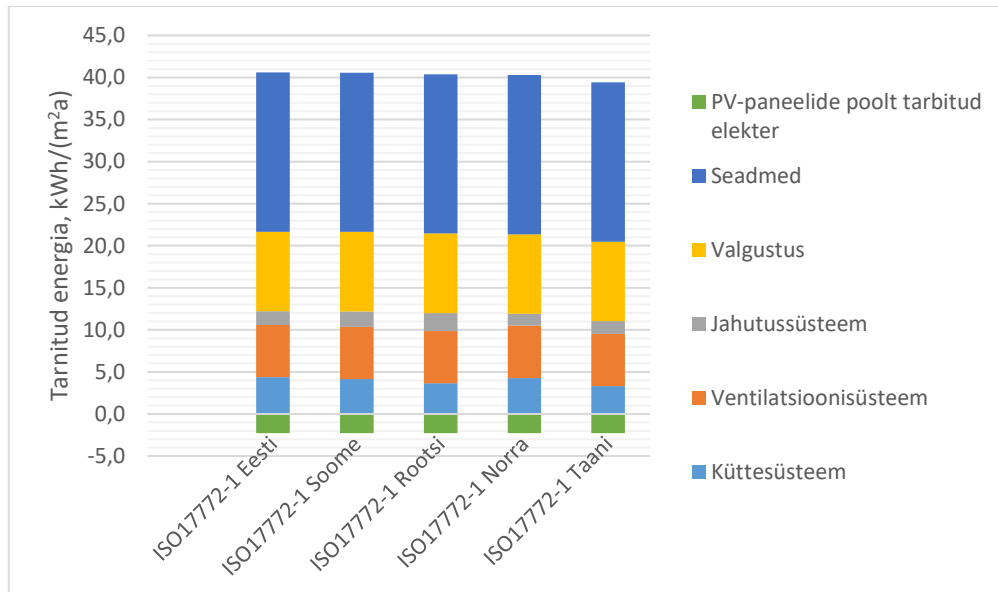
Erinevates riikides kohaliku simulatsioonide meetodikaga arvatatud büroohoone tarnitud energia on toodud Joonisel 3.13.



Joonis 3.13 Riiklike sisendandmetega võrdlushoone energiakasutus

Eesti ja Soome büroohoonete riiklikud energiakasutused on peaaegu samad, välja arvatud paigaldatud valgustite ja seadmete energiakasutus ning sooja tarbevee soojendamisele kuluv energia. Kuna Taani energiatõhususe hindamise meetodikas on madalaim seadmetele paigaldatud võimsus ja ventilaatorite pöörlemissagedus nii kasutusajal kui ka kasutusaja välisel ajal ning kõrgeim jahutusseadme temperatuur 26°C, siis on Taani energiakasutus viiest riigist madalaim. Tulemused näitavad, et kõige suurem energiakasutus on Rootsis, millele järgnevad Soome, Eesti, Norra ja Taani büroohooned. Seadmete energiatarve mõjutab märkimisväärselt energiakasutuse tulemusi, nagu on Joonisel 3.13 näha. Kuna Rootsi energiatõhususe hindamise meetodikas on kõrgeim paigaldatud seadmete võimsus 15,31 W/m², siis on Rootsi büroohoone energiakasutus teistest riikidest hüppeliselt suurem.

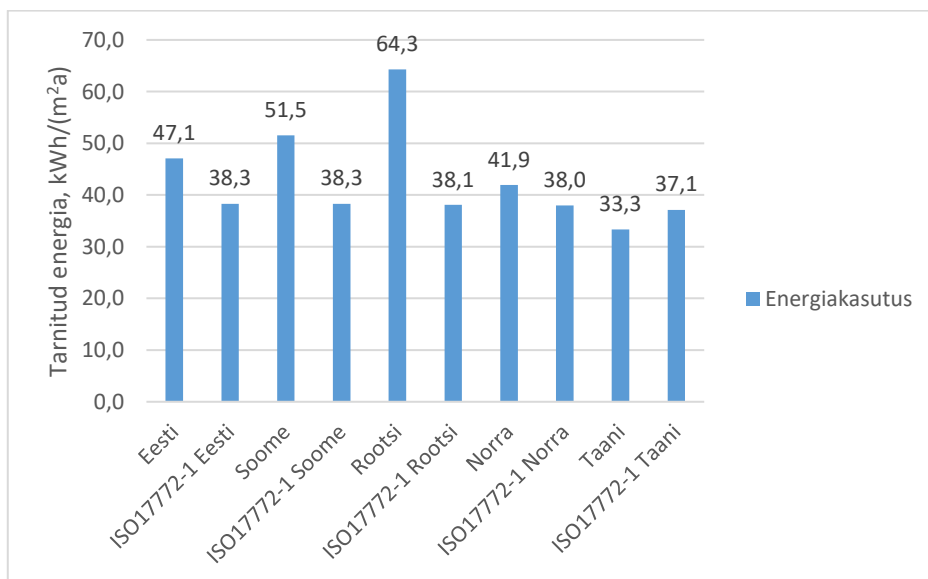
Erinevates riikides ISO 17772-1 meetodikaga arvatatud büroohoone tarnitud energia on toodud Joonisel 3.14.



Joonis 3.14 Rahvusvahelise standardi ISO 17772-1 sisendandmetega võrdlushoone energiakasutus

Tulemused näitavad, et rahvusvahelise standardi ISO 17772-1 sisendväärtuste järgi simuleeritud võrdlushoone on sarnase kliimaga riikides peaaegu sama, varieerudes 38,3 ja 37,1 kWh/(m²·a) vahel. Võib järeldada, et ühtse energiatõhususe hindamise metodika loomine on võimalik. Kuna Taani asub teistest riikidest lõuna pool, siis on Taani büroohoone energiatarve ka kõige väiksem.

Järvevana tee 7b büroohoone summaarne energiakasutus erinevates riikides on toodud Joonisel 3.15.



Joonis 3.15 Büroohoone summaarne energiakasutus riigiti

Kui võrrelda rahvusvahelise standardi ISO 17772-1 energiatõhususe hindamise metodikate tulemusi vastavate riiklike nõuetega, siis täideti riiklik nõue kõigil juhtudel,

välja arvatud Taani juhtum. Seetõttu näib Taani metoodika teiste riikide metoodikate seas kõige energiatõhusam, sest kasutab kõige vähem energiat. Kui rahvusvahelise standardi seadmete seadeväärtus on 12 W/m², siis Taani puhul on see rohkem kui poole väiksem 5,6 W/m².

3.1.3 Büroohoone energiatõhususarv

Büroohoone energiatõhususarvu ETA leidmiseks arvutati hoone kaalutud summaarne energiakasutus 190846,9 kWh/a. Määrati kui palju toodetakse lokaalselt taastuvenergiat 9797,7 kWh/a. Toodangust 90% ehk 8818 kWh/a tarbivad hoones paiknevad seadmed nagu näiteks ventilaatorid, valgustus, kontoriseadmed, soojuspump ära ning 10% ehk 979,8 kWh/a eksporditakse edasi elektrivõrku. Energiakandja kaalumistegur on 2, sest maasoojuspumba energiakandja on elekter.

$$ETA_{Esti} = \frac{((190846,9 - 8818,0) \cdot 2)}{3866,3} = 94,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

Töös saavutati energiatõhususe A-klass ehk liginullenergiahoone tase energiatõhususarvuga 94,2 kWh/(m²·a).

4. ANALÜÜS

Selles töös võrreldi energiasimulatsiooni lähteandmete mõju liginullenergia büroohoone arvutuslikule energiatarbimisele Eestis ja Skandinaavias. Võrdlusbüroohoone simuleeriti Eesti, Soome, Rootsi, Norra ja Taani rahvuslike sisendandmetega. Seejärel rakendati võrdlushoones rahvusvahelise standardi ISO/FDIS 17772-1:2016 [18] lähteandmeid ja võrreldi arvutuslikku energiatarbimist sama hoone, aga erinevate kohalike energiaarvutuse lähteandmetega. Lisaks kirjeldati ühtsel kujul ära erinevate riikide büroohonete lähteandmed.

Tulemused näitavad, et viie riigi sisendväärtusi vastavalt rahvusvahelisele standardile ISO 17772-1 korrigeerides võimaldab alandada energiatõhusust märgatavalt ning samal ajal vastavad tehnilised lahendused endiselt riiklike energiatõhususe hindamise metoodikate nõuetele, välja arvatud Taani juhtum. Võrreldes rahvusvahelise standardi ISO 17772-1 lähteandmeid riiklike standardite lähteandmetega võib teha järgmisi järeldusi:

- ISO 17772-1 standardi järgi tehtud simulatsioonide tulemused erinesid oluliselt vähem, kui kohalike meetoditega tehtud simulatsioonid.
- Riiklikud sisendandmed, vabasoajused, kasutusprofiilid, sisekliima parameetrid, seadeväärtused ja energiabilansi arvutusmeetodid avaldasid büroohoone energiatõhususe hindamise metoodikale märkimisväärset mõju.
- Selgus, et Taani energiatõhususe hindamise metoodika järgi arvutatud hoone on kõige väiksema energiakasutusega, järgnevad Norra, Eesti, Soome ja Rootsi metoodikad.
- Rahvusvahelise standardi ISO 17772-1 nõuete ja riiklike energiatõhususe hindamise metoodikate otsene võrdlus andis vastuolulisi tulemusi, sest riiklikes eeskirjades on erinevused energiaarvutuse parameetrites ja seadeväärtustes ning kasutusprofiilides.

Energiatõhusust simuleeriti standartsete ja riiklike sisendandmetega. Võrdlusbüroohoone viidi ühest kliimapiirkonnast teise ning tehnosüsteemide parameetrid ja seadeväärtused muudeti vastavalt asukoha riigi metoodikale. Liginullenergiahoone energiavajaduse jaoks simuleeriti kümmet juhtumit, nagu on näidatud Joonisel 3.15. Lisaks valitud riikide kohalikele sisendandmetele tehti energiasimulatsioonimudelid ka vastavalt rahvuslikele energiatõhususe hindamise metoodika sisendväärtustele.

Arvesse tuleks võtta ka seda, et hoone prognoositav ja pärast hoone valmimist tegelikult mõõdetud energiatarbimine võib märgatavalt erineda energiatõhususarvu arvutamisel standardtingimustel saadud energiatarbimisest. Erinevuste olulisemateks põhjusteks on [11]:

- hoone tegelik kasutus ei vasta ETA arvutuste standardtingimustele, sest büroohoone tegelik kasutusaeg erineb ETA arvutamise kasutusprofiilidest. Hoone tegelik vabasoojus erineb oluliselt ETA arvutuse aluseks olnud vabasoojusest. Hoone tegelik õhuvahetus erineb ETA arvutuse aluseks olnud õhuvahetusest. Ruumide tegelikud siseõhutemperatuurid erinevad ETA arvutuse aluseks olnust. Tegelik väliskliima erineb energiaarvutuste baasaastast.
- ETA arvutus ei sisalda osa elektritarbimisi, nt välisvalgustust, lifte, sulatuskaableid, serveriruumi, külmkambreid, suurtööstuseid jms.
- Hooneautomaatika süsteemid ei toimi standardkasutuses eeldatu kohaselt.
- Inimeste käitumisharjumused erinevad oluliselt standardkasutuses eeldatust.

Reaalelu on näidanud, et olemasolevate hoonete tegelik elektritarbimine on keskmiselt üle kahe korra suurem kui saadakse ETA arvutustega standardkasutusel [11]. Kuna büroohoone Järvevana tee 7b puhul puudub töö autoril isiklik kontakt, siis ei ole tegelikke energiatarbimise tulemusi, millega prognoositavat võrrelda.

KOKKUVÕTE

Selles uuringus viidi Eesti, Soome, Rootsi, Norra ja Taani riiklikud büroohoone energiatõhususe hindamise meetodikad võrdlusesse rahvusvahelise standardi ISO/FDIS 17772-1:2016 lähteandmetega. Võrdlushooneks kasutati Järvevana tee 7b asuvat büroohoonet. Tegu on viiekorruselise bürooonega, mille kõetav pind on 3866,3 m². Töö eesmärgiks oli uurida energiasimulatsiooni lähteandmete mõju liginullenergia bürooone arvutuslikule energiatarbimisele nii Eestis kui ka Skandinaavias.

Bürooone netoenergiavajaduse leidmiseks kasutati simulatsiooniprogrammi IDA-ICE 4.8. Lähteandmed arvutusmodelite koostamiseks olid antud hoone projekti dokumentatsioonis. Võrdlusbürooone energiasimulatsiooni mudel koostati vastavalt Eesti bürooone energiatõhususe arvutamise meetodikale. Seejärel tõsteti võrdlushoone ühest riigist teise ja tehnosüsteemide lähteandmeid korrigeeriti vastavalt kohalikele energiatõhususe hindamise meetodikatele. Võrreldi arvutuslikku energiatarbimist sama hoone, aga erinevate kohalike energiaarvutuse lähteandmetega.

Iga kasutatud energiatõhususe hindamise meetodika põhjaliku analüüsi tagajärjel tehti kindlaks, kui energiatõhus on võrdlushoone valitud Euroopa riikides ning kuidas oleks võimalik energiatõhususe hindamise meetodikaid omavahel ühtlustades energiat säästa. Lisaks kirjeldati ühtsel kujul ära erinevate riikide bürooone lähteandmed.

Tööst selgub, et rahvusvahelise standardi ISO/FDIS 17772-1:2016 lähteandmetega pole riiklike nõudeid raske saavutada. Eestis ja Skandinaavias jõutakse rahvusvahelise standardi ISO/FDIS 17772-1:2016 tulemusteni kui muudetakse bürooone kasutusprofiile ning tehnosüsteemide efektiivsust ja alandatakse nende liigset energiakasutust peamiselt tõhusamate ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide ning madalama seadmete energiakasutuse näol. Lisaks selgus, et ISO/FDIS 17772-1:2016 standardi järgi tehtud simulatsioonide tulemused erinesid oluliselt vähem, kui kohalike meetoditega tehtud simulatsioonid.

Kõik uued hooned peavad 31. detsembriks 2020 olema liginullenergiahooned ehk vastama liginullenergiahoone miinimumnõudele 100 kWh/(m²·a). Antud töös see õnnestus. Eesti kliimas asuva bürooone energiatõhususarvuga 94,2 kWh/(m²·a). Tulemuseni jõuti tänu sellele, et bürooone katusele paigaldati päikesepaneelid, akendele sirmid ja ribid, hoone kasutab kütteks ja jahutuseks ning tarbevee soojendamiseks maasoojuspumpa ning ligi 75% veest ammutatakse vihmaveest.

Autor ei ole analüüsinud Skandinaavia bürooone energiatarbijaid, energiakandjate kaalumistegureid, hinnatavaid parameetreid ning nende piirmäärasid. Selle tõttu puudub detailne ülevaade valitud Euroopa riikide bürooone liginullenergia nõuetest

ning uuringu tulemused riiklike liginullenergiahoonete nõuete vastavusest rahvusvahelise standardi ISO/FDIS 17772-1:2016 nõuetele. Selle uuringu tegemiseks, tuleks jätkata uuringuid ja analüüse selles valdkonnas.

SUMMARY

In this study the national energy efficiency assessment methodologies of the Estonian, Finnish, Swedish, Norwegian and Danish office buildings were compared with the source data of the international standard ISO/FDIS 17772-1:2016. The office building at Järvevana tee 7b was used as a reference building. It is a five-storey office building with a heated area of 3866.3 m². The aim of the study was compare impact of energy simulation input data on the calculated energy use of a nearly-zero energy office building in Estonia and Scandinavia.

Simulation software IDA-ICE 4.8 was used to calculate the net energy demand of an office building. The source data for compiling the calculation models were given in the building projects. The methodology for calculating the efficiency of an Estonian office building was used as a basis for the compilation of an energy simulation model for a reference office building. The reference building may be different in different countries and the baseline data for the utility systems were adjusted according to local energy assessment methodologies. The calculated energy consumption for the same building was compared using with local energy consumption baseline data.

A thorough analysis of each test performance assessment method was used to in order to find out how energy efficient is the the equivalent building in different European countries. In addition to the description, various source data for national office buildings were given.

The study shows that the national requirements are easily met using ISO/FDIS 17772-1:2016 source data. In Estonia and Scandinavia, the ISO/FDIS 17772-1:2016 standards are met by more efficient ventilation and cooling systems. In addition, the study discovered that the results of the simulation conducted following the ISO/FDIS 17772-1:2016 standards differed less than the simulations done using local methods.

By 31 December 2020, all new buildings must be near-zero energy buildings, meet the minimum requirement of a near-zero energy building of 100 kWh/(m²·year). The current study shows that it is possible. It was possible due to the fact that solar panels were installed on the roof of the office building, screens and ribs were placed on the windows, the ground source heat pump is used for heating and cooling the building and 75% of water use rainwater.

The author of the study has not analysed the energy consumers, weighting factors for energy carriers, controlled parameters and their limits of Scandinavian office buildings. This is the reason why there is not detailed overview of the near-zero energy requirements for office buildings in selected European countries and of whether national

near-zero energy requirements meet the international ISO/FDIS 17772-1:2016 requirements. In the course of this study, further research and analysis in this area is needed.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiv 2010/31/EL (24.12.2018) <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02010L0031-20181224> (27.11.2019)
- [2] Hoonete energiatõhusus (9.03.2016) https://energiatalgud.ee/index.php/Hoonete_energiat%C3%B5husus?menu-21 (25.02.2020)
- [3] Energiatõhusus (veebuar 2020) https://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/et/FTU_2.4.8.pdf (25.02.2020)
- [4] Majandus- ja taristuministri määrus nr 58 „Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika”. Riigi Teataja, I, 22.08.2019, 5. (27.11.2019)
- [5] Majandus- ja taristuministri määrus nr 55 „Hoone energiatõhususe miinimumnõuded”. Riigi Teataja, I, 22.08.2019, 2. (27.11.2019)
- [6] J. Kurnitski, T. Buso, S.P. Corgnati, A. Derjanecz, A. Litiu (märts 2014) *nZEB definitions in Europe* (01.12.2019)
- [7] K. Ahmed, M. Carlier, C. Feldmann, J. Kurnitski (23.05.2018) *A New Method for Contrasting Energy Performance and Near-Zero Energy Building Requirements in Different Climates and Countries* www.mdpi.com/journal/energies (01.12.2019)
- [8] D. D’Agostino (17.02.2015) *Assessment of the progress towards the establishment of definitions of Nearly Zero Energy Buildings (nZEBs) in European Member States* <https://www.journals.elsevier.com/journal-of-building-engineering> (01.12.2019)
- [9] M.K. Wiik, S.M. Fufa, T. Kristjansdottir, I. Andresen (31.01.2018) *Lessons learnt from embodied GHG emission calculations in zero emission buildings (ZEBs) from the Norwegian ZEB research centre* <https://www.journals.elsevier.com/energy-and-buildings> (01.12.2019)
- [10] J. Kurnitski, K. Ahmed, T. Hasu, T. Kalamees, N. Lolli, A. Lien, T. Johan, J. Jan (23.04.2018) *nZEB energy performance requirements in four countries vs. European commission recommendations* www.rehvam2018atic.eu (01.12.2019)
- [11] E. Abel, H. Voll, T. Tark. *Hoonete energiatarve ja sisekliima*. EKVÜ, 2014. (25.02.2020)
- [12] Hepsor OÜ (2016) Järvevana tee 7b põhiprojekt (01.12.2019)
- [13] Abimaterjal aines „Ehitusfüüsika” (2016) (12.01.2020)

- [14] Järvevana tee 7b koduleht. Hepsor OÜ, 2016 <https://www.jarvevana7b.ee/et/hoonest> (01.12.2019)
- [15] Veebikaart (2020) <https://www.google.com/maps> (03.01.2020)
- [16] Maaküte OÜ, T. Tammemäe (01.11.2017) *Järvevana 7b kütte- ja jahutussüsteemide põhiprojekt* (16.02.2020)
- [17] Nordic Energy Solutions OÜ, I. Raide (juuli 2017) *Järvevana tee 7b, Tallinn büroohoone energiatõhususarvu arvutus ja jahutuskoormused* (15.12.2019)
- [18] Rahvusvaheline standard ISO/FDIS 17772-1:2016 (2016) *Energy performance of buildings – Indoor environmental Quality* www.iso.org (15.12.2019)
- [19] Soome standard SFS-EN ISO 7730 (2006) *Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria* www.sfs.fi (15.12.2019)
- [20] Rootsi energiatõhususe hindamise meetodika <http://www.sveby.org/wp-content> (15.12.2019)
- [21] Norra standard SN/TS 3031:2016 (2017) *Energy performance of buildings Calculation of energy needs and energy supply* [www. Standard.no](http://www.Standard.no) (15.12.2019)
- [22] Riikide kasutusprofiilid. REHVA, 2014 *Operation times and average loads for energy calculation* (15.12.2019)
- [23] Päikesepaneelide paigaldus <https://solar4you.ee/paikesepaneelid/paikesepaneelide-paigaldus/> (01.03.2020)
- [24] J. Kurnitski (19.04.2020) *Eesti liginullenergianõuete tase võrreldes naabritega* (01.12.2019)
- [25] Euroopa standard FprEN 16798-1:2018 (september 2018) *Energy performance of buildings - Part 1: Indoorenvironmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics - Module M1-6* (15.12.2019)
- [26] Tehniline raport ISO/TR 52000-2:2016 (2016) *Energy performance of buildings - Overarching EPB assessment – Part 2: Explanation and justification of ISO 52000-1* www.iso.org (15.12.2019)

[27] Rahvusvaheline standard ISO/FDIS 52000-1:2016 (2016) *Energy performance of buildings - Overarching EPB assessment - Part1: General framework and procedures* www.iso.org (15.12.2019)

[28] Rahvusvaheline standard ISO/DTR 17772-2 version 2 (2016) *Energy performance of buildings - Part2: Guideline focusing indoor environmental input parameters for the design and assessment of energy performance of buildings* <https://isotc.iso.org/livelink/livelink/open/tc205> (15.12.2019)

[29] Norra standard NS 3700:2013 (2016) *Criteria for passive houses and low energy buildings Residential buildings* (15.12.2019)

[30] REHVA raport (2013) *REHVA nZEB technical definition and system boundaries for nearly zero energy buildings* www.rehva.eu (26.02.2020)

LISAD

Lisa 1 – Uuritud büroohoone piirdetarindite kirjeldus

Lisa 1

Tabel L.1 Uuritud büroohoone piirdetarindite kirjeldus

Tarind		Soojusläbivus U [W/m ² ·K]	Läbimõõt d [mm]
PP01	1. korruse põrand	0,21	400
	viimistlus vastavalt arh. Seletuskirjale kiudbetoonplaat (C25/30 XC1); 100 mm PVC kile vahtpolüstüroolplaadid, EPS 100; 100 mm tihendatud killustikalus (tihendusaste 95%); 200 mm looduslik aluspinnas		
PP02	Parkla ja garaaži põrand		420
	viimistlus vastavalt arh. seletuskirjale kalletega kiudbetoonplaat (C35/45 XC4, XD3, XF4, XM1); 120 mm PVC kile polüstüreenplaadid (0,035 W/mK); 100 mm tihendatud killustikalus (tihendusaste 95%); 200 mm looduslik aluspinnas	0,035	120 100 200
VL01	1. korruse lagi	0,13	700
	viimistlus vastavalt arhitektursele osale; 20 mm R/B plaat (C25/30 XC1); 80 mm aurutõke - PVC kile soojustus - vahtpolüstüreen (0,035 W/mK); 300 mm kandekonstruktsioon - monoliitne r/b plaat; 300 mm viimistlus vastavalt arhitektursele osale		
VL02	Vahelagi		320
	viimistlus vastavalt arhitektursele osale; 20 mm monoliitne R/B plaat (põrandakütte torustikuga); 300 mm viimistlus vastavalt arhitektursele osale		20 300
VL03	Büroo ja ventkambri vahelagi		300
	PVC hüdroisolatsioon kandekonstruktsioon - monoliitne r/b plaat; 300 mm viimistlus vastavalt arhitektursele osale		300
VL04	Büroo ja katusekorruse ruumide vahelagi		720
	viimistlus vastavalt arhitektursele osale; 20 mm R/B plaat (C25/30 XC1); 80 mm filterkangast eralduskiht kergkruus (tihedus 250-350 kg/m ³); 320 mm kandekonstruktsioon - monoliitne r/b plaat; 300 mm viimistlus vastavalt arhitektursele osale		20 80 320 300
VL05	1. korruse lagi		330
	viimistlus vastavalt arhitektursele osale; 20 mm R/B plaat (C25/30 XC1); 80 mm PVC kile		20 80

	jäk mineraalvillplaat (0,040 W/mK); 50 mm kandekonstruktsioon - monoliitne r/b plaat; 200 mm viimistlus vastavalt arhitektursele osale	0,04	50 200
VL06	1. korruse lagi	0,13	700
	viimistlus vastavalt arhitektursele osale; 20 mm kiudbetoonplaat (C35/45 XC4, XD3, XF4, XM1); 120 mm aurutõke - PVC kile soojustus - vahtpolüstüreen (0,035 W/mK); 260 mm kandekonstruktsioon - monoliitne r/b plaat; 300 mm viimistlus vastavalt arhitektursele osale		
KL01	Büroo katuslagi terrassi osas	0,11	693
	immutatud terrassilaud vastavalt arhitektursele osale; 28 mm immutatud hõövelpuidust roovitis (45x45); 400 mm PVC kile; 1,2 mm PVC terrassikate; 1,5 mm Filterkangas soojustus (0,034 W/mK); 20...120 mm soojustus - PIR paneelid (0,026 W/mK); 200 mm aurutõke - bituumenrullmaterjal kandekonstruktsioon - monoliitne r/b plaat; 300 mm viimistlus vastavalt arhitektursele osale		
KL02	Büroo katuslagi	0,09	750
	PVC katusekate tuulutussoontega jäk mineraalvillplaat (0,040 W/mK); 50 mm soojustus - vahtpolüstüreen (0,035 W/mK); 250-400 mm aurutõke - bituumenrullmaterjal kandekonstruktsioon - monoliitne r/b plaat; 300 mm viimistlus vastavalt arhitektursele osale		
KL03	Parkla katuslagi		535
	sillutiskivi vastavalt arhitektursele osale; 60 mm liivast sängituskiht; 30 mm filterkangaga tuulduv dreanaažimatt; 15 mm kilest eralduskiht; 0,2 mm Hüdroisolatsioon kergetoonist kalletekiht; 130 mm kandekonstruktsioon - monoliitne r/b plaat; 300 mm viimistlus vastavalt arhitektursele osale		60 30 15 0,2 130 300
KL04	Ventkambri katuslagi	0,21	290
	PVC katusekate tuulutussoontega jäk mineraalvillplaat (0,040 W/mK); 30 mm soojustus - mineraalvill (0,036 W/mK); 80 mm PVC kile jäk mineraalvillplaat (0,040 W/mK); 50 mm		

	profiilplekk; 130 mm viimistlus vastavalt arhitektuursele lahendusele		
KL05	Büroo/õhuvõtukambri katuslagi	0,16	530
	PVC katusekate tuulutussoontega jäik mineraal villplaat (0,040 W/mK); 50 mm soojustus - vahtpolüstüreen (0,035 W/mK); 120...180 mm aurutõke - bituumenrullmaterjal kandekonstruktsioon - monoliitne r/b plaat; 300 mm viimistlus vastavalt arhitektuursele osale		
KL06	Katusekorruse katuslagi	0,21	318
	PVC katusekate tuulutussoontega jäik mineraalvillplaat (0,040 W/mK); 30 mm soojustus - mineraalvill (0,036 W/mK); 80 mm aurutõke - PVC kile jäik mineraalvillplaat (0,040 W/mK); 50 mm profiilplekk; 130 mm roovitus - kübarprofiil; 15 mm kipsplaat; 13 mm viimistlus vastavalt arhitektuursele lahendusele		
VS01	Parkla välissein		580
	tihendatud pinnas vastavalt töö seletusele tihendatud drenivkillustik; 200 mm soojustus - polüstüreen; 120 mm hüdroisolatsiooni kaitsetahvel Kleephüdroisolatsioon monoliitne raudbetoonsein; 260 mm viimistlus vastavalt arh. seletuskirjale		200 120 260
VS02	1. korruse välissein	0,35	430
	viimistlus vastavalt arhitektuursele osale raudbetoonist väliskiit; 150 mm soojustus - vahtpolüstüreen (0,035 W/mK); 100 mm raudbetoonist sisekiit; 180 mm viimistlus vastavalt arhitektuursele osale		
VS03	1. korruse välissein	0,36	330
	viimistlus vastavalt arhitektuursele osale raudbetoonist väliskiit (C 30/37 XC3 XF2); 80 mm soojustus - vahtpolüstüreen (0,035 W/mK); 100 mm raudbetoonist sisekiit; 150 mm viimistlus vastavalt arhitektuursele osale		
VS04	Büroo välissein	0,12	334
	horisontaalne laudis; 23 mm vertikaalne roovitus - puitroovid 32x50 mm, s. 600 mm; 32 mm soojustus - PIR paneel punnsoonega (0,023 W/mK); 140 mm		

	tulekindel kipsplaat; 12,5 mm karkassi terasroov C 100x2, s. 600 mm (0,037 W/mK); 120 mm kipsplaat 2 kihti; 25 mm viimistlus vastavalt arhitektursele osale		
VS05	Ventkambri välissein	0,17	168
	horisontaalne laudis; 23 mm vertikaalne roovitus - puitliistud 30x50 mm, s. 600 mm; 25 mm plekk-sandwich paneel; 120 mm		
VS06	Garaaži välissein		150
	viimistlus vastavalt arhitektursele osale monoliitne raudbetoonsein (C 30/37, XC1); 150 mm viimistlus vastavalt arhitektursele osale		150
VS07	1. korruse välissein	0,35	430
	viimistlus vastavalt arhitektursele osale raudbetoonist väliskiit; 150 mm soojustus - vahtpolüstüreen (0,035 W/mK); 100 mm raudbetoonist sisekiit; 180 mm viimistlus vastavalt arhitektursele osale		
VS08	1. korruse välissein	0,35	440
	viimistlus vastavalt arhitektursele osale raudbetoonist väliskiit; 150 mm soojustus - vahtpolüstüreen (0,035 W/mK); 100 mm täisbetoneeritud õõnesplokkmüüritis; 190 mm viimistlus vastavalt arhitektursele osale		
VS09	1. korruse välissein	0,36	395
	viimistlus vastavalt arhitektursele osale raudbetoonist väliskiit (C 30/37 XC3 XF2); 80 mm soojustus - vahtpolüstüreen (0,035 W/mK); 100 mm täisbetoneeritud õõnesplokkmüüritis; 190 mm kipsplaat 2 kihti; 25 mm viimistlus vastavalt arhitektursele osale		
VS10	Koosolekuruumi välissein	0,13	313
	horisontaalne laudis; 23 mm vertikaalne roovitus - puitliistud 30x50 mm, s. 600 mm; 25 mm plekk-sandwich paneel; 120 mm karkassi terasroov C 120, s. 600 mm (0,037 W/mK); 120 mm kipsplaat 2 kihti; 25 mm viimistlus vastavalt arhitektursele osale		
VS11	Garaaži välissein	-	580
	tihendatud pinnas vastavalt töö seletusele tihendatud drenivkillustik; 200 mm soojustus - polüstüreen; 120 mm hüdrosolatsiooni kaitsetahvel Klephüdrosolatsioon		200 120

	monoliitne raudbetoonsein; 260 mm viimistlus vastavalt arh. seletuskirjale		260
SS01	Kandev vahesein		180
	viimistlus vastavalt arhitektursele osale monoliitne raudbetoonsein (C 30/37, XC1); 180 mm viimistlus vastavalt arhitektursele osale		180
SS02	Vahesein		116
	karkassivöö Gyproc AC 66 ACO Unomic (põrandal ja laes) karkassipost Gyproc XR 66, s. 450 mm või 600 mm mineraalvill Isover KL AKU; 50 mm kipsplaadid 12,5 mm + 12,5 mm Gyproc GEK 13		
SS03	Vahesein		380
	viimistlus vastavalt arhitektursele osale õõnesplokkmüüritis (õõned täis betoneeritud); 190 mm mineraalvill; 50 mm õõnesplokkmüüritis (õõned täis betoneeritud); 140 mm viimistlus vastavalt arhitektursele osale		190 50 140
SS04	Ventkambri ja koosolekuruumi vahesein		249
	viimistlus vastavalt arhitektursele osale õõnesplokkmüüritis (õõned täis betoneeritud); 140 mm õhkvahe; 30 mm kergekarkass/mineraalvill; 66 mm kipsplaat; 13 mm viimistlus vastavalt arhitektursele osale		140 30 66 13
SS05	Vahesein	-	150
	viimistlus vastavalt arhitektursele osale kergebetoon plokkidest müüritis; 150 mm viimistlus vastavalt arhitektursele osale		150
SS06	Ventkambri sisesein	0,17	120
	plekk-sandwich paneel; 120 mm		
SS07	Sisesein		55
	teraskarkass (täidetud mineraalvillaga); 42 mm kipsplaat; 13 mm		42 13
SS08	Kandev vahesein		150
	viimistlus vastavalt arhitektursele osale monoliitne raudbetoonsein (C 30/37, XC1); 150 mm viimistlus vastavalt arhitektursele osale		150